

**Untersuchung der
systematischen Anatomie der Wirbelsäule und der
Wirbelsäulenmuskulatur des Alpakas
(Vicugna pacos)**

von
Pit Waringo

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

**Untersuchung der
systematischen Anatomie der Wirbelsäule und der
Wirbelsäulenmuskulatur des Alpakas
(Vicugna pacos)**

von

Pit Waringo

aus

Luxemburg

München 2018

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department der Tierärztlichen
Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München

Lehrstuhl für Anatomie, Histologie und Embryologie

Arbeit angefertigt unter der Leitung von
Univ.-Prof. Dr. Johann Maierl

**Gedruckt mit der Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, Ph.D.

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Johann Maierl

Korreferent/en: Univ.-Prof. Dr. Dr. habil. Joris Peters

Tag der Promotion: 27.07.2018

Meiner Familie und Gloria
in Dankbarkeit
gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	2
2.1	Taxonomie	2
2.2	Knochen der Wirbelsäule	2
2.2.1	Halswirbel (Vertebrae cervicales)	2
2.2.2	Brustwirbel (Vertebrae thoracicae)	11
2.2.3	Lendenwirbel (Vertebrae lumbales)	15
2.2.4	Kreuzwirbel (Vertebrae sacrales)	16
2.2.5	Schwanzwirbel (Vertebrae caudales)	17
2.3	Verbindungen der Knochen der Wirbelsäule	18
2.3.1	Nackenband (Ligamentum nuchae)	19
2.4	Faszien und Muskulatur des Rückens	19
2.4.1	Faszien	19
2.4.2	Hautmuskeln (Mm. cutanei)	20
2.4.3	Besondere Bewegungen des Kopfes	20
2.4.4	Besondere Bewegungen der Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule	22
2.4.5	Lange Zungenbeinmuskeln (Mm. hyoidei)	29
3	Material und Methoden	32
3.1	Material	32
3.2	Methoden	32
3.2.1	Anatomische Präparation der Tiere	32
3.2.2	Konservierung der Tierkörper mittels Ethanolinjektion	33
3.2.3	Erstellung der Knochenpräparate	33
3.2.4	Erstellung der Gefäßinjektionen mit Latex	34
3.2.5	Lagerung der Präparate zwischen den Präparationsschritten	35
3.2.6	Anfertigung der Bilder	35
3.2.7	Digitale Nachbearbeitung der Bilder	36
4	Ergebnisse	37
4.1	Knochen der Wirbelsäule	37
4.1.1	Halswirbel (Vertebrae cervicales)	38
4.1.2	Brustwirbel (Vertebrae thoracicae)	44
4.1.3	Lendenwirbel (Vertebrae lumbales)	47

4.1.4	Kreuzwirbel (Vertebrae sacrales).....	49
4.1.5	Schwanzwirbel (Vertebrae caudales)	51
4.2	Verbindungen der Knochen der Wirbelsäule	53
4.2.1	Kopfgelenke	53
4.2.2	Verbindungen der Wirbel miteinander	56
4.3	Faszien und Muskeln des Rücken	62
4.3.1	Hautmuskeln (Mm. cutanei)	62
4.3.2	Besondere Bewegungen des Kopfes	62
4.3.3	Besondere Bewegungen der Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule.....	65
4.3.4	Lange Zungenbeinmuskeln (Mm. hyoidei)	81
5	Diskussion	87
5.1	Passiver Trageapparat.....	88
5.1.1	Knochen.....	88
5.1.2	Bänder	92
5.2	Aktiver Trageapparat	94
6	Zusammenfassung	103
7	Summary	105
8	Abbildungsverzeichnis	107
9	Tabellenverzeichnis	109
10	Literaturverzeichnis.....	110
11	Danksagung.....	113

Alle anatomischen Termini wurden gemäß der 6. Auflage der Nomina Anatomica Veterinaria verwendet (NAV, 2017)

Abkürzungsverzeichnis

A., Aa.	Arteria, Arteriae
Abb.	Abbildung
Art., Artt.	Articulatio, Articulationes
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
F.	Fascia
For., Forr.	Foramen, Foramina
H ₂ O ₂	Wasserstoffperoxid
Inc.	Incisura
Lig., Ligg.	Ligamentum, Ligamenta
Ln., Lnn.	Lymphonodus, Lymphonodi
M., Mm.	Musculus, Musculi
ml	Milliliter
mm	Millimeter
N., Nn.	Nervus, Nervi
Proc., Procc.	Processus, Processus
R., Rr.	Ramus, Rami
Tab.	Tabelle
Tub.	Tuberculum
V., Vv.	Vena, Venae
w	weiblich
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

1 Einleitung

Das Alpaka (*Vicugna pacos*, LINNÉ 1758) gehört zusammen mit dem Lama (*Lama glama*, LINNÉ 1758), dem Guanako (*Lama guanicoe*, MÜLLER 1776) und dem Vikunja (*Vicugna vicugna*, MOLINA 1782) zu den Neuweltkameliden. Ungefähr vor 6.000-7.000 Jahren haben die Einwohner Südamerikas mit der Domestikation des Guanakos und Vikunjas begonnen (KADWELL et al., 2001). Aus diesen Züchtungen gingen das Lama und das Alpaka hervor. Das Lama diene den Menschen als Fleisch- und Wolllieferant und aufgrund seiner anatomischen Anpassung an das unwegsame Gelände als wichtigster Lastenträger in den Hochebenen Südamerikas (ALTMANN, 1990). Das Alpaka wurde aufgrund seiner geringeren Größe hauptsächlich als Fleisch- und Wolllieferant gehalten (ALTMANN, 1990). Aufgrund der Tatsache, dass die Tiere recht umgänglich und perfekt an unterschiedliche Witterungsverhältnisse angepasst sind, erfreuen sich Neuweltkameliden, vor allem das Alpaka auch in Europa einer immer grösser werdenden Beliebtheit. So hat sich in den letzten 10 Jahren die Anzahl der Alpakas um das 10-fache gesteigert. Im Mai 2017 waren in Europa 14.203 Alpakas registriert - davon alleine 4872 Tiere in Deutschland (KIESLING, 2017). Vor allem die besonders weiche und feine Wolle des Alpakas, die als „Merinoschafe“ unter den Neuweltkameliden gelten, ist aufgrund ihrer hohen Qualität sehr gefragt (ALTMANN, 1990). Trotz des verstärkten Aufkommens dieser exotischen Nutztiere beschreibt die bestehende, hauptsächlich südamerikanische Literatur vor allem die Anatomie des Lamas. Nur wenige wissenschaftliche Artikel beschreiben den Aufbau der Wirbelsäule und hauptsächlich die Muskulatur wird kaum thematisiert. Neben ihrer Wolle ist jedoch der lange Hals und dessen ungewöhnliche, nahezu senkrechte Position, das wohl am stärksten auffallende Merkmal des Alpakas. Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, den aktiven und passiven Trageapparat zu untersuchen, der dem Rücken die notwendige Stabilität und dem langen Hals die große Beweglichkeit ermöglicht, um das Grundwissen für eine tiergerechte, medizinische Betreuung dieser in Europa noch relativ neuartigen Nutz- und Haustiere zu schaffen.

2 Literaturübersicht

2.1 Taxonomie

Das Alpaka (*Vicugna pacos*, LINNÉ 1758) ist einer der Vertreter der Neuweltkameliden. Diese zählen zu den Schwielensohlern (*Tylopoda*, ILLIGER 1811) einer der drei Unterordnungen aus der Ordnung der Paarhufer (*Artiodactyla*, OWEN, 1848) (ALTMANN, 1990). Zu dieser Unterordnung gehören neben den Altweltkameliden noch drei weitere Arten von Neuweltkameliden: das Lama (*Lama glama*, LINNÉ 1758), das Guanako (*Lama guanicoe*, MÜLLER 1776) und das Vikunja (*Vicugna vicugna*, MOLINA 1782). Beim Lama handelt es sich um die vom Guanako, beim Alpaka um die vom Vikunja abstammende Haus- und Nutztierform. Im Jahr 2001 konnte diese Abstammung mittels DNA-Proben von über 700 Neuweltkameliden aus den Anden bewiesen werden (KADWELL et al., 2001).

2.2 Knochen der Wirbelsäule

Die Wirbelsäule der Neuweltkameliden besteht aus 7 Hals-, 12 Brust-, 7 Lenden-, 4-5 Sakral- (PACHECO TORRES et al., 1979; FOWLER, 2010b; TIMM et al., 2011; AZZOPARDI, 2012; STOLWORTHY et al., 2015b) und 10-20 Schwanzwirbeln (PACHECO TORRES et al., 1979; FOWLER, 2010b; TIMM et al., 2011; AZZOPARDI, 2012; MCCracken et al., 2013; STOLWORTHY et al., 2015b). Die Rückenlinie beim Alpaka weist eine Reihe von Krümmungen auf. Auf Höhe des Atlantoaxialgelenkes ist die Wirbelsäule ventral konkav, während sie in der Mitte des Halses ventral konvex ist. Auf Höhe der letzten Hals- und ersten Brustwirbel beschreibt sie eine geringgradige dorsale konkave Krümmung, die in eine leichte ventrale Konkavität in der Brustwirbelsäule übergeht. Im Bereich der Kreuz- und Schwanzwirbelsäule schließlich ist sie stark konkav (FUENTES TAPIA, 1953; TIMM et al., 2011). Der Schwanz hängt somit beim Alpaka deutlich nach unten. Das Lama besitzt im Gegensatz dazu eine gerade Rückenlinie mit einem abgehobenen Schwanz (TIMM et al., 2011).

2.2.1 Halswirbel (Vertebrae cervicales)

Neuweltkameliden besitzen einen recht langen Hals (GUNSSER, 2011; AZZOPARDI, 2012). Seine Länge entspricht der des Rückens ohne Becken

(GUNSSER, 2011). Die Halswirbelsäule des Alpakas besteht aus sieben langen Wirbeln (AZZOPARDI, 2012; STOLWORTHY et al., 2015a; STOLWORTHY et al., 2015b), die mit ihren Gelenkfortsätzen beiderseits mit dem nachfolgenden Wirbel artikulieren (GUNSSER, 2011). Einzig der erste und der letzte Halswirbel sind kürzer (PACHECO TORRES et al., 1979; AZZOPARDI, 2012; STOLWORTHY et al., 2015a; STOLWORTHY et al., 2015b). Durch die Länge der Halswirbel entsteht ein langer Hebeleffekt an der Halswirbelsäule (STOLWORTHY et al., 2015a) und somit ein relativ hoher Grad an Beweglichkeit (FOWLER, 2010b; AZZOPARDI, 2012). Zusätzlich werden die Halswirbel über starke Bänder mit der Brustwirbelsäule verbunden. Diese Bänder entspringen dorsal an den Wirbeln (GUNSSER, 2011).

Erster Halswirbel (Atlas)

Im Gegensatz zu den anderen Halswirbeln weist der Atlas beim Alpaka einen untypischen Aufbau auf. Er ist kürzer und die ventralen Öffnungen sind stärker ausgebildet (FUENTES TAPIA, 1953). Der Atlas des Lamas besteht aus einem dorsalen und einem ventralen Atlasbogen (Arcus dorsalis et ventralis) (FUENTES TAPIA, 1953; PACHECO TORRES et al., 1979; GALOTTA & GALOTTA, 1994). Der dorsale Bogen ist an seinem kranialen Ende (Extremitas cranialis, Caput vertebrae) abgeflacht und an seinem kaudalen Ende (Extremitas caudalis, Fossa vertebrae) erhöht mit einem kleinen Dornfortsatz (Proc. spinosus), der sich in kraniokaudale Richtung verbreitert (FUENTES TAPIA, 1953). Der dorsale Bogen wird vom Tuberculum dorsale überragt (LESBRE, 1903a; GALOTTA & GALOTTA, 1994). Der ventrale Bogen bildet an seiner dorsalen Seite eine konkave Fläche zur Artikulation mit dem Zahn (Dens) und einen rauen, kaudal konkaven Kamm, der kranial ausgerichtet und stark ausgeprägt ist. Vor allem an den Seiten finden sich scharfe Kanten (FUENTES TAPIA, 1953). Über den ventralen Wirbelbogen zieht sich bei den Neuweltkameliden eine flache Crista ventralis, welche in ein kurzes Tuberculum ausläuft (LESBRE, 1903a; FUENTES TAPIA, 1953; PACHECO TORRES et al., 1979; GALOTTA & GALOTTA, 1994).

Die Seitenteile (jeweils Massa lateralis) bilden kranial die Gelenkflächen, welche die Kondylen des Hinterhauptbeines (Os occipitale) aufnehmen. Der Atlas besitzt vier Aussparungen, von denen die dorsalen und ventralen größer sind als die beiden lateralen Einschnitte. Kaudal trägt der Atlas eine Gelenkfläche (Fovea dentis) für den Axis und lateral befindet sich auf jeder Seite eine kaudale Öffnung (For.

transversarium) des Canalis transversarius*. Diese beginnt im kaudalen Bereich der Atlasgrube (Fossa atlantis) und öffnet sich kaudolateral der Gelenkfortsätze (Procc. articulares craniales und caudales) (FUENTES TAPIA, 1953). Die Atlasflügel (Alae atlantis) entsprechen den Querfortsätzen (Proc. transversus) bei einem typischen Wirbel und weisen einen schrägen Verlauf auf (FUENTES TAPIA, 1953; GALOTTA & GALOTTA, 1994). Ihre kranialen Ränder beginnen dorsal der kranialen Gelenkflächen der jeweiligen Massa lateralis und enden kaudal in einem Tuberculum lateral des For. transversarium. Die Flügel sind kranial ausgerichtet und bilden zusammen mit der jeweiligen Massa lateralis die Atlasgrube. In letztere mündet beidseits das For. transversarium und das Flügelloch (For. alare) (FUENTES TAPIA, 1953). Die bereits erwähnte Fossa alaris befindet sich ventral am Atlasflügel (PACHECO TORRES et al., 1979; GALOTTA & GALOTTA, 1994). An der dorsalen Seite der Atlasflügel sind verschiedene Öffnungen erkennbar: das For. alare, welches in eine Furche („Surco altoideo**“) übergeht und das Zwischenwirbelloch (For. intervertebrale). Die beiden Wirbelbögen umschließen das Wirbelloch (For. vertebrale). Der Canalis intervertebralis („intervertebral canal**“) endet hier (GALOTTA & GALOTTA, 1994). Kaudolateral an der dorsalen Fläche finden sich beiderseits die Öffnungen des For. transversarium und des For. alare bzw. des „Canalis alaris**“ (LESBRE, 1903a; PACHECO TORRES et al., 1979; GALOTTA & GALOTTA, 1994). Das For. alare kommuniziert dorsal mittels einer breiteren Rinne mit dem For. intervertebrale (FUENTES TAPIA, 1953). Der Atlas besitzt sowohl am kranialen als auch am kaudalen Ende jeweils zwei Gelenkflächen (Foveae articulares craniales und caudales) für die Artikulation mit den Gelenkknorren (Condyli occipitales) des Hinterhauptbeines bzw. mit dem Axis (GALOTTA & GALOTTA, 1994), sowie kaudal eine Fovea dentis (GALOTTA & GALOTTA, 1994). Der Atlas ist der Wirbel mit dem weitesten For. intervertebrale und die kraniale Gelenkhöhle wird dorsal nicht durch einen tiefen Einschnitt getrennt (PACHECO TORRES et al., 1979).

Zweiter Halswirbel (Axis)

Der Axis ist kürzer als der 3. bis 5., aber länger als der 6. und 7. Halswirbel. Er ist an seinem kranialen Ende dorsoventral abgeflacht und an seinem kaudalen Ende

* Nicht in der (NAV, 2017) gelistet. Begriff aus (FUENTES TAPIA, 1953).

** Nicht in der (NAV, 2017) gelistet. Begriff aus (GALOTTA & GALOTTA, 1994).

abgerundet (FUENTES TAPIA, 1953).

Am kranialen Ende befindet sich wie bei den anderen Haussäugetieren der Dens axis (FUENTES TAPIA, 1953; GALOTTA & GALOTTA, 1994; AZZOPARDI, 2012). Dieser wird von der Facies articularis cranialis umgeben (GALOTTA & GALOTTA, 1994), welche den Dens an seiner Basis wie eine laterale Gelenknut umgibt (LESBRE, 1903a). Der Dens axis ist ventral zylindrisch und dorsolateral konkav. In seinem Zentrum trägt er Rauigkeiten für den Ansatz des Lig. apicis dentis („Lig. odontoideum“*). An seinen Seiten trägt er modifizierte Gelenkfortsätze, die erweitert sind und sich ventral und unterhalb des Dornfortsatzes vereinen. Außerdem präsentiert er eine Incisura vertebralis cranialis, die weniger ausgeprägt ist (FUENTES TAPIA, 1953).

Der Wirbelbogen des Axis ist deutlich entwickelt und seine Einschnitte sind proportional tiefer und kraniokaudal deutlich ausgebildet. An der lateralen Seite finden sich schräge, raue Knochenkämme, die im mittleren Teil des Wirbelbogens beginnen und dorsokaudal ziehen, um an den kranialen Gelenkfortsätzen zu enden (FUENTES TAPIA, 1953).

Der Dornfortsatz des Axis beginnt bei den Neuweltkameliden an dessen kranialem Ende und gewinnt kaudal an Höhe und Breite, ohne jedoch die Extremitas caudalis zu überragen (PACHECO TORRES et al., 1979). Er beginnt am Anfangsteil des Bogens und ist wenig ausgeprägt. Er nimmt kaudal progressiv an Höhe zu, zweigt sich auf und endet abrupt in zwei Kämme, die nach außen gerichtet sind und die Gelenkfortsätze nicht erreichen (FUENTES TAPIA, 1953). Laut LESBRE (1903a) ist der Dornfortsatz stachelig und erreicht nicht die kaudale Inzisur (Inc. vertebralis caudalis). Er endet kaudal im Tuberculum dorsale (GALOTTA & GALOTTA, 1994).

Der Querfortsatz besteht aus einem einzigen Ast, der kaudal gerichtet ist. Das Foramen transversarium durchzieht nicht den Querfortsatz, sondern den Wirbelkörper (Corpus vertebrae) (FUENTES TAPIA, 1953). Ab dem 2. Halswirbel besitzen alle Halswirbel auf beiden Seiten einen dorsalen und einen ventralen Querfortsatz (PACHECO TORRES et al., 1979; STOLWORTHY et al., 2015a). Am kranialen Ende des Axis befindet sich das For. vertebrale laterale und das For.

* Nicht in der (NAV, 2017) gelistet. Begriff aus FUENTES TAPIA (1953)

vertebrale laterale dorsale^{*}, sowie das For. transversarium (FUENTES TAPIA, 1953; GALOTTA & GALOTTA, 1994). Das For. transversarium ist eine breite Öffnung, die sich kaudal der modifizierten Gelenkfortsätze öffnet und dorsal mit dem For. intervertebrale und kaudal über einen kleinen Kanal mit dem Wirbelkanal (Canalis vertebralis) kommuniziert (FUENTES TAPIA, 1953).

Ventral am Axis findet sich eine Crista ventralis, die im Tuberculum ventrale endet (FUENTES TAPIA, 1953; GALOTTA & GALOTTA, 1994). Die Crista ventralis ist kurz und verschwindet im mittleren Teil des Wirbelkörpers, wo nur einige laterale Kämme zu finden sind. Kranial ist sie deutlich ausgebildet und endet kaudal in einem Tuberculum (FUENTES TAPIA, 1953).

Der Proc. articularis caudalis überragt das kaudale Ende des Axis und ist an der Bildung der Inc. vertebralis caudalis beteiligt (GALOTTA & GALOTTA, 1994). Die beiden kaudalen Gelenkfortsätze zeigen kaudolateral und überragen das Ende des Dornfortsatzes. Sie besitzen ventral Gelenkflächen, die lateroventral zeigen. Außerdem sind ab dem Axis bis zum 6. Halswirbel im Wirbelkanal longitudinale Kanäle ausgebildet, in welchen die A. vertebralis verläuft (PACHECO TORRES et al., 1979).

Das kaudale Ende des Axis besitzt die Cavitas glenoidalis^{**}, die elliptisch und leicht konkav ist (FUENTES TAPIA, 1953).

Dritter bis siebter Halswirbel

Die Wirbelkörper der Halswirbel, mit Ausnahme des 1. und 7. Halswirbels sind lang und dorsoventral komprimiert (BENAVENTE ANINAT et al., 1993) (FUENTES TAPIA, 1953). Die kranialen Gelenkköpfe sind weder deutlich zylindrisch, noch konvex und seine Cavidades glenoideas sind nicht deutlich ausgehöhlt (FUENTES TAPIA, 1953). Die Wirbel des Vikunjas besitzen ausgeprägtere Merkmale als bei den restlichen Neuweltkameliden (BENAVENTE ANINAT et al., 1993). Der 3. Halswirbel ist hoch und schmal (STOLWORTHY et al., 2015a). Die mittleren Wirbel sind hingegen eher sanduhrförmig (STOLWORTHY et al., 2015b).

Die Größe nimmt vom 3. bis zum 5. Halswirbel zu. Der 3. und 4. Halswirbel stehen an drei Punkten in Kontakt: am Wirbelkopf und den beiden Gelenkfortsätzen. Der 5.

^{*} Nicht in der (NAV, 2017) gelistet. Begriff aus GALOTTA & GALOTTA (1994).

^{**} Nicht in der (NAV, 2017) gelistet. Begriff aus (FUENTES TAPIA, 1953).

Halswirbel artikuliert hingegen an vier Punkten: mit den kranialen Gelenkflächen und den Querfortsätzen (FUENTES TAPIA, 1953).

Die Wirbelbögen sind am 3. und 4. Halswirbel gleich groß, während sie am 5. Halswirbel kleiner werden. Die Einschnitte, sowohl die kranialen als auch die kaudalen sind sehr breit und formen weite Forr. intervertebralia. Lateral sind einige undeutliche Kämme sichtbar, die vom kranialen zum kaudalen Gelenkfortsatz ziehen (FUENTES TAPIA, 1953).

Ventral an den Halswirbeln befindet sich eine Leiste, die kaudal in einem Tuberculum endet, welches an den beiden letzten Wirbeln weniger markant ausgeprägt ist (PACHECO TORRES et al., 1979). Diese Crista ventralis ist in der Regel beim Lama deutlicher ausgebildet als beim Kamel. Kranial am Wirbelkörper ist an beiden Seiten ein Proc. ventralis* vorhanden (LESBRE, 1903a). Nach FUENTES TAPIA (1953) ist sie im kaudalen Bereich ausgebildet und verlängert sich am 4. und 5. Halswirbel nach kranial mittels eines sehr feinen Kammes, der kleiner wird bis er fast den Gelenkkopf erreicht.

Insgesamt sind die Dornfortsätze der Halswirbel recht schmal (BARKER et al., 2015). Sie sind in kraniale Richtung rechteckig geformt. Beim Alpaka besitzen die Procc. spinosi die gleiche Grundstruktur, sind jedoch schlanker und niedriger (BENAVENTE ANINAT et al., 1993). Die reduzierten Dornfortsätze sind nur an der kranialen Extremität ausgebildet (PACHECO TORRES et al., 1979). Das Vikunja wiederum weist eine konvexe, längsgerichtete Knochenleiste mit einer Verdickung in ihrer Mitte auf (BENAVENTE ANINAT et al., 1993). Am 3. bis 5. Halswirbel sind die Dornfortsätze weniger deutlich ausgeprägt als am Axis. Im Verhältnis zum Wirbelkörper ist der Dornfortsatz jedoch über dem gesamten 3. Halswirbel ziemlich hoch, während er am 4. und 5. Halswirbel kürzer wird. Er endet kaudal mit zwei Höckern (FUENTES TAPIA, 1953).

Während die Querfortsätze beim Guanako schlank sind, sind sie beim Alpaka breit und etwas fülliger als bei den anderen Neuweltkameliden sind (BENAVENTE ANINAT et al., 1993). Sie sind länglich und leicht ventral gewölbt (PACHECO TORRES et al., 1979). Die Querfortsätze besitzen beim Alpaka zwei Äste (FUENTES TAPIA, 1953; GALOTTA & GALOTTA, 1994): einen dorsalen und einen kaudalen

* Nicht in der (NAV, 2017). Begriff aus (LESBRE, 1903a).

Stachel (BENAVENTE ANINAT et al., 1993; GALOTTA & GALOTTA, 1994). Der dorsale Stachel ist beim Lama deutlicher ausgebildet als beim Kamel (LESBRE, 1903a). FUENTES TAPIA (1953) beschreibt einen kranialen und einen kaudalen Ast. Der kraniale Ast ist ventrolateral gerichtet und entspringt direkt aus der kranialen Portion des Wirbelkörpers. Am 3. Halswirbel ist er deutlich stärker entwickelt als am 4. und 5. Halswirbel. Am letzteren Wirbel ist der kraniale Ast somit breiter und prominenter, zieht kranial und überquert den Gelenkkopf. Der kaudale Ast der Querfortsätze besitzt die gleiche Position und Ausrichtung wie am Axis aber ist prominenter (FUENTES TAPIA, 1953). Vor allem am 3. und 4. Halswirbel ist der ventrale Anteil des Querfortsatzes hakenförmig kaudal gebogen (LESBRE, 1903a). Ab dem 3. Halswirbel bildet der ventrale Fortsatz des kranialen Anteils des Querfortsatzes einen Kanal in Form eines umgedrehten U. In diesem Kanal ventral am Hals verlaufen die Leitungsbahnen und werden so vor Verletzungen während der Kämpfe zwischen Hengsten geschützt. Am 4. und 5. Halswirbel sind die ventralen Fortsätze deutlicher ausgeprägt (FOWLER, 2010c). Die kaudalen Aussparungen der Wirbelkörper nehmen in ihrem kaudalen Teil, sowie am Körperansatz vom 3.-5. Halswirbel an Tiefe zu (FUENTES TAPIA, 1953).

Die Forr. transversaria befinden sich innerhalb des Wirbelkanals und öffnen sich kranial der Mitte und ventral der kranialen Gelenkfortsätze (FUENTES TAPIA, 1953). Die Halswirbel besitzen neben einem seitlich gelegenen Proc. transversus und einem dorsalen Proc. spinosus zusätzlich noch Procc. articulares craniales und caudales (GALOTTA & GALOTTA, 1994). Diese sind vertikal geneigt und beim Guanako schräg (BENAVENTE ANINAT et al., 1993). Die kranialen Gelenkfortsätze sind deutlich entwickelt und dorsokranial ausgerichtet. Sie entspringen lateral an den Wirbelbögen. Ihre Gelenkflächen sind elliptisch und zeigen dorsomedial. Sie sind weiter als die kaudalen Gelenkflächen des vorherigen Wirbels. Diese Stellung der Gelenkfortsätze ist der Tatsache geschuldet, dass die Wirbel insgesamt vertikal angeordnet sind. Dies hat zur Folge, dass die Halswirbel in einer dorsoventral ausgerichteten Achse aneinander vorbei gleiten. Ventral weisen die kranialen Gelenkfortsätze des 3. bis 5. Halswirbels ein Tuberkulum auf, das ventrolateral in einer rauen Crista endet (FUENTES TAPIA, 1953).

Die kaudalen Gelenkfortsätze besitzen den gleichen Aufbau wie am Axis, jedoch sind sie breiter und stärker ausgebildet und ihre Dicke nimmt vom 3. bis zum 5. Halswirbel zu (FUENTES TAPIA, 1953).

Bei allen Halswirbeln, mit Ausnahme des ersten und letzten endet der Canalis transversarius im Inneren des For. vertebrale (PACHECO TORRES et al., 1979).

Die beiden letzten Halswirbel sind im Gegensatz zu den vorherigen kürzer und breiter (FOWLER, 2010b; STOLWORTHY et al., 2015a; STOLWORTHY et al., 2015b). Der 6. Halswirbel ist dorsoventral stärker abgeflacht und der Wirbelkopf ist stärker konvex. Die Extremitas caudalis ist dicker und geringgradig stärker konkav. Die Crista ventralis ist fast vollständig verschwunden und wird durch eine feine Crista repräsentiert, die kaudal in einem kleinen Tuberkulum endet. Die dorsale Seite weist wie die vorherigen Wirbel eine Crista media auf. Der 6. Halswirbel stützt sich an seinem kranialen Ende an vier Punkten ab; mittels der kranialen Gelenkflächen und der Querfortsätze (FUENTES TAPIA, 1953).

Der Wirbelbogen ist kürzer und die kaudalen Einschnitte sind weiter. Die Kämme, welche die kranialen und kaudalen Gelenkfortsätze verbinden, sind deutlich ausgeprägter als am 3. und 5. Halswirbel. Dort wo sich der Wirbelbogen und die kranialen Gelenkfortsätze verbinden, existieren Vertiefungen, die am 4. und 6. Halswirbel deutlicher und am 3. und 5. Halswirbel enger sind (FUENTES TAPIA, 1953).

Der 6. Halswirbel besitzt zusätzlich noch einen kranialen Stachel (GALOTTA & GALOTTA, 1994). Dieser überragt den Wirbel um 2-3 Zentimeter (LESBRE, 1903a). An seinem kaudalen Ende sind zusätzlich zu den Procc. ventrales auf beiden Seiten Rami des Proc. transversus ausgebildet. Die Querfortsätze sind leicht zur dorsalen Seite hin gewölbt (PACHECO TORRES et al., 1979). Sie werden am 6. Halswirbel von drei Ästen gebildet: der kraniale ist ventrolateral gerichtet, während der kaudale höckeriger ist als der kraniale. Er bildet an seiner Außenfläche einen rauen Kamm in kraniokaudaler Richtung und zeigt kraniolateral. Diese beiden Äste sind durch eine tiefe Aussparung voneinander getrennt. Der dritte Ast liegt zwischen den beiden vorher beschriebenen und verlässt den zentralen Teil des Wirbelkörpers. Er zieht kaudolateral und weist an seinem dorsalen Rand einen Kamm auf, der mit dem Wirbelkörper und dem Wirbelbogen eine deutlich, durch die Halsmuskeln

ausgebildete Rinne bildet. Das For. transversarium ist ziemlich erweitert und präsentiert den selben Aufbau wie an den vorherigen Wirbeln (FUENTES TAPIA, 1953).

Der Dornfortsatz des 6. Halswirbels ist breiter und prominenter als bei den vorherigen und endet mit zwei Ästen über den kaudalen Gelenkflächen (FUENTES TAPIA, 1953)

Die kranialen Gelenkfortsätze weisen den gleichen Aufbau wie an den kranial gelegenen Wirbeln auf, jedoch sind sie dicker und stärker ausgebildet (FUENTES TAPIA, 1953).

Die kaudalen Gelenkfortsätze des 6. Halswirbels sind dicker und stärker entwickelt als an den vorherigen Wirbeln (FUENTES TAPIA, 1953).

Der 7. Halswirbel ist der kürzeste Halswirbel (PACHECO TORRES et al., 1979; FOWLER, 2010b; AZZOPARDI, 2012; STOLWORTHY et al., 2015a; STOLWORTHY et al., 2015b). Der Wirbelkörper ist außerdem breiter und komprimierter als bei den restlichen Wirbeln der Halswirbelsäule (PACHECO TORRES et al., 1979). Mit Ausnahme vom 1. Halswirbel, ist der 7. Halswirbel kürzer und dorsoventral abgeflachter als die restlichen Halswirbel, so dass der transversale Durchmesser größer ist. Der Wirbelkopf ist deutlich konvex und weist lateral zwei kleine Tuberkel auf. Das kaudale Ende ist breiter und dicker als am 6. Halswirbel und weist zentral eine deutlich ausgehöhlte Extremitas caudalis auf. Lateral treffen sich zwei elliptische Flächen, die dazu dienen mit dem Kopf der ersten Rippe zu artikulieren (FUENTES TAPIA, 1953).

Der Wirbelbogen ist am letzten Halswirbel sehr kurz und die Aussparungen sind sowohl kranial als auch kaudal breit, insbesondere letztere. Die Crista, welche die kranialen und kaudalen Gelenkflächen verbindet, ist glatt und abgerundet (FUENTES TAPIA, 1953).

Ventral besitzt der 7. Halswirbel weder eine Crista noch das dazugehörige Tuberkel. Diese Seite ist relativ plan und weist eine gering ausgeprägte, mittlere Crista mit Rauigkeiten längs des Körpers auf. Dorsal am Wirbelkörper ist die Crista komplett eben und besitzt zwei laterale Rillen, welche der Passage der V. spinalis longitudinalis media dienen. Medial sind diese über eine transversale Rille verbunden, aus der die Venen der Spongiosa austreten. Die Vertiefungen sind

proportional weniger ausgeprägt als an den anderen Wirbeln (FUENTES TAPIA, 1953).

Seine Querfortsätze bilden sowohl am kranialen als auch am kaudalen Ende ventrale Fortsätze aus (FUENTES TAPIA, 1953; FOWLER, 2010b). Außerdem findet sich am Rippenfortsatz ein tiefer Einschnitt (LESBRE, 1903a). Der letzte Halswirbel weist noch eine Fossa vertebralis* auf (GALOTTA & GALOTTA, 1994). Der Querfortsatz ist weiter kranial lokalisiert (PACHECO TORRES et al., 1979).

Der 7. Halswirbel besitzt kein For. transversarium (FUENTES TAPIA, 1953). Laut PACHECO TORRES et al. (1979) ist nicht bei jedem Tier vorhanden.

Der kürzere Dornfortsatz beginnt ebenfalls am kranialen Ende und besitzt ein kräftigeres Tuberkulum (PACHECO TORRES et al., 1979). Er ist höher als an den vorherigen und erreicht eine Höhe von 1-1,5 Zentimeter. Sein Rand ist dick, prominent und konvex. Er endet in einer Aussparung der vorhergehenden Gelenkfläche. Somit ist er nicht zweigeteilt, wie bei den vorangehenden Wirbeln (FUENTES TAPIA, 1953).

Die kranialen Gelenkfortsätze sind dicker und offener als an den kranial gelegenen Fortsätzen und weisen ventral ein deutliches Tuberkulum auf, das laterokaudal in einer deutlich ausgeprägten rauen Crista endet (FUENTES TAPIA, 1953).

Bezüglich ihrer Anordnung und Form ähneln die kaudalen Gelenkfortsätze des 7. denen des 6. Halswirbels, wobei die Einschnitte weiter und ihre Äste schlanker sind (FUENTES TAPIA, 1953).

2.2.2 Brustwirbel (Vertebrae thoracicae)

Die Brustwirbel beim Alpaka sind ziemlich kurz (FUENTES TAPIA, 1953; PACHECO TORRES et al., 1979) und entsprechen mehr oder weniger der Hälfte des Körpers des 7. Halswirbels (FUENTES TAPIA, 1953). Laut LESBRE (1903a) weisen die Brustwirbel exakt ein Drittel der Länge der Halswirbel auf. Die Wirbelkörper werden vom 1.-6. Brustwirbel geringgradig kürzer, bevor sie ab dem 7. Brustwirbel wieder an Größe zunehmen, ohne jedoch die Größe des 1. Wirbels zu übertreffen. Der 8. und 9. Brustwirbel bleiben unverändert. Ab dem 10. Brustwirbel nimmt ihre Größe wieder leicht zu. Die Extremitas caudalis ist leicht ausgehöhlt und abgerundet. Die

* Nicht in der NAV (2017) gelistet. Begriff aus GALOTTA & GALOTTA (1994)

Wirbelkörper der ersten beiden Brustwirbel sind dorsoventral abgeflacht. Ab dem 3. Brustwirbel sind die Wirbelkörper bis zum Ende der Brustwirbelsäule seitlich abgeflacht. Sie sind in die Richtung der anderen geneigt. Diese Neigung nimmt bis zum 10. Brustwirbel zu, um dann wieder abzunehmen und zu verschwinden (FUENTES TAPIA, 1953). Dorsal präsentieren die Brustwirbel die gleichen Merkmale wie der 7. Halswirbel. Insgesamt sind 4 Facies costales ausgebildet: zwei kraniale und zwei kaudale. Die kranialen Flächen befinden sich lateral am Wirbelkörper, zeigen ventrolateral und geringgradig kranial. Die kaudalen Flächen befinden sich lateral der Extremitas caudalis und präsentieren einige elliptische Flächen, die ventral und geringgradig lateral zeigen (FUENTES TAPIA, 1953). Sie bilden zusammen mit den kranial gelegenen Wirbeln eine Ausbuchtung, um die Rippenköpfe aufzunehmen. Diese ist besonders zwischen dem 7. Hals- und dem 1. Brustwirbel recht breit. Anschließend nimmt ihre Breite bis zum 7. und 8. Brustwirbel ab. Kaudal davon bleibt ihre Breite konstant. Die Forr. intervertebralia sind an den ersten 3 Brustwirbeln deutlich ausgebildet und bleiben vom 4. bis 8. Brustwirbel konstant. Ab dem 9. Brustwirbel werden sie kürzer und bleiben dann bis zum 11. Brustwirbel unverändert (FUENTES TAPIA, 1953).

Die Wirbelkörper besitzen eine ventrale Knochenleiste, die kranial recht scharf begrenzt ist (PACHECO TORRES et al., 1979). Die Crista ventralis ist an den Brustwirbel aller 4 Neuweltkameliden vorhanden (BENAVENTE ANINAT et al., 1993). Sie ist beim Lama deutlicher entwickelt als beim Kamel (LESBRE, 1903a). Diese Crista ventralis ist vom 1. bis zum letzten Brustwirbel ausgebildet. Sie wird am 2. Brustwirbel deutlicher und das Tuberkulum befindet sich an der gleichen Position wie am 1. Brustwirbel. Am 3. Brustwirbel ist sie schwächer ausgebildet und verschwindet an den folgenden Wirbeln komplett (FUENTES TAPIA, 1953). Kranial geht sie in ein Tuberkulum über, welches an den Halswirbeln am kaudoventralen Ende der Wirbel zu finden ist (FUENTES TAPIA, 1953).

Die Dornfortsätze sind beim Lama kürzer und dünner als beim Kamel (LESBRE, 1903a). Der Dornfortsatz des 1. Brustwirbels ist im Vergleich zu den Halswirbeln deutlicher entwickelt und erreicht eine durchschnittliche Höhe von 7,5 Zentimetern. Er ist schräg, dorsokaudal ausgerichtet und endet dorsal mit einem prominenten Scheitel. Der kraniale Rand ist scharf. Der kaudale Rand ist etwas breiter und weist Rauigkeiten auf (FUENTES TAPIA, 1953). Der Dornfortsatz der ersten Wirbel ist

eher rechteckig, recht hoch und leicht kaudal geneigt. Dieser wird an den kaudalen Brustwirbeln eher quadratisch und kürzer und stellt sich immer stärker vertikal auf (PACHECO TORRES et al., 1979). Die rechteckigen Dornfortsätze bilden an ihrer kaudalen Seite über dem Knochenfortsatz der kaudalen Gelenke eine dünne Furche, die beim Vikunja und Lama feiner ist als bei den anderen Neuweltkameliden. Beim Guanako neigen sie dazu sich dorsal zuzuspitzen. Sie bilden eine breite Furche über den kaudalen Gelenkfortsätzen (BENAVENTE ANINAT et al., 1993). Die Dornfortsätze sind gerade nach kaudal inkliniert. Die Neigung nimmt am 6. Brustwirbel zu. Anschließend ist der kraniale Rand konkav und nimmt kaudal progressiv bis zum 10. Brustwirbel zu. Der Dornfortsatz des 1. Brustwirbel ist leicht konkav, während der 12. Brustwirbel vertikal ausgerichtet ist (FUENTES TAPIA, 1953).

Die Querfortsätze sind beim Alpaka deutlich ausgeprägt und werden von einem einzigen, breiten Ast gebildet, der aus dem Wirbelbogen und –körper entspringt. An ihrer ventralen Seite besitzen sie eine Gelenkgrube (Fovea costalis processus transversii), die kraniokaudal stark konkav ausgehöhlt ist und den Rippenhöcker (Tuberculum costae) der ersten Rippe aufnimmt. Diese vereint sich, durch eine breite und raue knöcherne Fläche dorsokranial mit der kranialen Gelenkfläche (FUENTES TAPIA, 1953). Beim Guanako und Lama sind die Querfortsätze breiter als lang, während sie beim Alpaka und Vikunja länger als breit sind (BENAVENTE ANINAT et al., 1993). Ab dem 6. und 7. Brustwirbel verlängern sich die Querfortsätze schräg. Sie verengen sich in der Mitte und werden zweistachelig, wobei sich der kraniodorsale Stachel nach und nach löst, um an den letzten beiden Wirbeln den Gelenkfortsatz zu bilden (BENAVENTE ANINAT et al., 1993).

Die einzelnen Wirbel artikulieren über die kranialen Gelenkflächen, die dorsal gerichtet sind und die kaudalen Gelenkflächen, die ventral zeigen. Eine Ausnahme stellen die kranialen Gelenkflächen des 1. Brustwirbels dar, die in die Querfortsätze integriert sind (PACHECO TORRES et al., 1979). Die kranialen Gelenkflächen sind ellipsoid, sie befinden sich oberhalb der Querfortsätze und sind mit diesen verbunden. Vom 2. bis 10. Brustwirbel befinden sich die kranialen Gelenkfortsätze an der dorsalen Seite und nahe des kranialen Randes des Wirbelbogens. Die am 2. bis 3. Brustwirbel noch elliptisch geformten Flächen werden ab dem 4. Brustwirbel rund und behalten diese Form bis zum 6. Brustwirbel. Am 7. Brustwirbel erlangen die

Gelenkfortsätze wieder ihre elliptische Form, welche sie bis zum 9. Brustwirbel behalten. Am 10. Brustwirbel sind sie deutlich reduziert und existieren am 11. Brustwirbel praktisch kaum noch. Am letzten Wirbel der Brustwirbelsäule weisen sie eine kleine Fläche auf, die abgerundet ist, ventromedial zeigt und sich an der Innenseite der Zitzenfortsätze befindet (FUENTES TAPIA, 1953). Die kranialen Gelenkflächen werden von einem langsam entstehenden Rand verschmälert, so dass die Gelenke ab den beiden letzten Brustwirbeln in ihrer Bewegung stark eingeschränkt sind. Zusätzlich sind an den Brustwirbeln Gelenkflächen für die Rippenköpfe und -höcker ausgebildet (PACHECO TORRES et al., 1979). Die Gelenkfacetten für die Rippenhöcker sind regelmäßiger und flacher (LESBRE, 1903a).

Die kaudalen Gelenkfortsätze befinden sich wie am 1. Brustwirbel an der Basis der Dornfortsätze und besitzen zwei Gelenkflächen, die ventromedial zeigen. Am 4. und 5. Brustwirbel sind die beiden kaudalen Gelenkflächen näher zusammen gerückt und verschmelzen bei manchen Wirbeln. An den weiter kaudal gelegenen Wirbeln rücken sie zum Teil jedoch wieder auseinander (PACHECO TORRES et al., 1979). Sie sind deutlich sichtbar bis zum 8. Brustwirbel, während sie am 9. Brustwirbel kleiner und am 10. Brustwirbel kaum deutlich erkennbar sind und sich lateral an der Basis der Dornfortsätze treffen. Am 11. Brustwirbel ist ihre Anordnung klarer definiert im Vergleich zum vorherigen Wirbel und weist zwei kleine Gelenkflächen auf, die dorsal und leicht lateral zeigen. Am 12. Brustwirbel zeigen die Gelenkflächen nahezu komplett lateral (FUENTES TAPIA, 1953).

Der 1. Brustwirbel steht mit dem 7. Halswirbel in Verbindung. Er ist kurz und ziemlich hoch. Diese Anordnung hat zur Folge, dass das Foramen vertebrale weiter ist. Die Aussparungen sind sehr breit, wodurch sich außerdem ein weites Foramen intervertebrale bildet. Ventral des 7. Hals- und 1. Brustwirbels besitzt das For. intervertebrale einen elliptischen Grundriss und einen Durchschnitt von 2 cm Länge und 1 cm Höhe (FUENTES TAPIA, 1953). Kranial wird es von der Incisura vertebralis caudalis begrenzt (GALOTTA & GALOTTA, 1994).

2.2.3 Lendenwirbel (*Vertebrae lumbales*)

Die Lendenwirbel sind alle ungefähr gleich lang und geringgradig größer als die Brustwirbel mit Ausnahme des letzten Lendenwirbels, der etwas kürzer und komprimierter ist (PACHECO TORRES et al., 1979). Die Wirbelkörper sind dorso-ventral abgeflacht, wobei diese Abflachung am 7. Lendenwirbel am stärksten ausgeprägt ist. Sie nehmen vom 1.-4. Wirbel an Umfang zu und ab dem 5. Lendenwirbel wieder ab. Die Crista ventralis ist bis zum 6. Lendenwirbel gut ausgebildet und trägt zwei charakteristische Höckerchen an beiden Enden– ein kraniales und ein kaudales. Am letzten Lendenwirbel ist die Crista ventralis weniger markant ausgebildet. Die Dorsalflächen der Wirbelkörper vergrößern sich in Querrichtung zum Ende der Lendenwirbelsäule hin. Die Gelenkköpfe sind an den ersten beiden Lendenwirbeln geringgradig abgeflacht und ab dem 3. Lendenwirbel leicht konvex. Die Extremitas caudalis ist schwach ausgehöhlt und ihre elliptische Form nimmt kaudal im transversalen Durchmesser zu (FUENTES TAPIA, 1953).

Die Wirbelbögen vergrößern sich vom 1.-4. Lendenwirbel und werden dann wieder kleiner. Auch die Incisurae vertebrales verkleinern sich kaudal fortschreitend; sie sind an diesen Wirbeln nur schwach ausgebildet (FUENTES TAPIA, 1953).

Die Procc. spinosi sind eher quadratisch und geringgradig kranial orientiert (PACHECO TORRES et al., 1979). Sie sind alle gleich hoch und haben die gleiche vertikale Ausrichtung. Sie stellen sich in Form von erweiterten Laminae mit verdicktem, aufgerautem Dorsalrand dar. Am ersten und letzten Lendenwirbel sind sie stark ausgebildet. Mit Ausnahme des 1. und 7. Lendenwirbels, ist die Breite bei allen Lendenwirbelkörpern mehr oder weniger gleich (FUENTES TAPIA, 1953).

Die kranialen Gelenkflächen liegen innen an den Zitzenfortsätzen der Medianen sehr nahe an und werden nach kaudal immer stärker konkav (FUENTES TAPIA, 1953; PACHECO TORRES et al., 1979). Sie umgreifen die Procc. articulares caudales des kranial gelegenen Wirbels (PACHECO TORRES et al., 1979). Die kaudalen Gelenkfortsätze liegen lateral an der Basis der Dornfortsätze. Ihre Artikulationsflächen zeigen dorsolateral und neigen sich typischerweise fortschreitend kaudal, bis sie sich am letzten Lendenwirbel fast als Kondylus darstellen (FUENTES TAPIA, 1953). Die Procc. articulares caudales sind beim Guanako lang und voluminös, während sie bei den restlichen Vertretern weniger stark ausgebildet sind. An den Lendenwirbeln sind bei allen Neuweltkameliden

Zitzenfortsätze zu erkennen, die mit Ausnahme des Lamas, bei dem sie deutlich entwickelt sind, nur geringgradig ausgeprägt sind (BENAVENTE ANINAT et al., 1993).

Die Querfortsätze sind in der Regel mehr als doppelt so lang wie die Länge der Wirbelkörper, mit Ausnahme der kürzeren Querfortsätze des ersten Lendenwirbels (PACHECO TORRES et al., 1979). Auch der Querfortsatz des 7. Lendenwirbels ist kürzer (FOWLER, 2010b; DOS SANTOS ROMERO, 2014). Das Lama und das Guanako besitzen halbmondförmig gebogene Querfortsätze, die sich bei Erstgenanntem in Richtung der Enden zuspitzen und deren Breite unverändert bleibt. Die Querfortsätze zeigen kraniolateral und bilden beim Alpaka und Vikunja eher ein kurzes „V“ (BENAVENTE ANINAT et al., 1993). Sie nehmen bis zum 3. Lendenwirbel an Länge zu, bleiben bis zum 6. Lendenwirbel gleich lang und nehmen am letzten Wirbel geringfügig ab. Sie sind alle dorsoventral abgeflacht mit Ausnahme des letzten Lendenwirbels, der abgerundete Fortsätze besitzt (FUENTES TAPIA, 1953).

2.2.4 Kreuzwirbel (Vertebrae sacrales)

Das Kreuzbein des Alpakas ist trapezförmig und besteht aus 5 verwachsenen Kreuzwirbeln (FUENTES TAPIA, 1953; AZZOPARDI, 2012; DOS SANTOS ROMERO, 2014). Laut PACHECO TORRES et al. (1979) ist der 5. Kreuzwirbel nicht komplett mit den vorherigen verschmolzen (PACHECO TORRES et al., 1979). Die kraniale Öffnung („Apertura sacra“*) des Wirbelkanals ist dreieckig (PACHECO TORRES et al., 1979). Dorsal in der Medianen befindet sich die dorsale Leiste (Crista sacralis mediana) aus den verschmolzenen Dornfortsätzen. Die lateralen Anteile des Sakrums (Partes laterales) enthalten die Forr. sacralia dorsalia (FUENTES TAPIA, 1953). Laut FUENTES TAPIA (1953) sind 4 Forr. sacralia dorsalia ausgebildet, die nicht direkt mit dem Wirbelkanal in Verbindung stehen. Ventral findet man die Forr. sacralia ventralia, sowie Querlinien (Lineae transversae) (GALOTTA & GALOTTA, 1994). Diese drei Transversallinien repräsentieren den jeweiligen Verwachsungspunkt der einzelnen Kreuzwirbel. Zwischen dem 4. und 5. Kreuzwirbel lassen sich Reste von Zwischenwirbelfaserknorpel erkennen (FUENTES TAPIA, 1953; PACHECO TORRES et al., 1979). Diese Tatsache zeigt, dass der 5.

* Nicht in der (NAV, 2017) gelistet. Begriff aus PACHECO TORRES (1979).

Kreuzwirbel nicht mit dem vorherigen verknöchert ist. Die Forr. sacralia ventralia sind breiter und kommunizieren mit dem Wirbelkanal (FUENTES TAPIA, 1953). Die Kreuzbeinflügel weisen zwei Seiten auf: die kraniale ist eben und zeigt kranioventral, die kaudale, raue Seite zeigt kaudolateral und erreicht mit ihrer ventralen Portion die Gelenkfläche des Os ilium. Der Flügel ist an seiner dorsalen Seite leicht konkav und glatt, mit einigen Rauigkeiten an den Rändern. Der Körper des 1. Kreuzwirbels ist deutlich dorsoventral zusammengedrückt (FUENTES TAPIA, 1953). Die Ränder der Querfortsätze der Kreuzwirbel nähern sich schwanzspitzenwärts an, ohne jedoch zu einer einheitlichen Crista lateralis zu verschmelzen (PACHECO TORRES et al., 1979).

Die Dornfortsätze der einzelnen Kreuzwirbel sind eigenständig (PACHECO TORRES et al., 1979). Der Proc. spinosus des 1. Kreuzwirbels ist beim Alpaka im Verhältnis zu dem des 7. Lendenwirbels sehr kurz (DOS SANTOS ROMERO, 2014). Laut FUENTES TAPIA (1953) sind die Dornfortsätze verschmolzen und der Dornfortsatz ist am 1. Kreuzwirbel deutlich und am letzten Kreuzwirbel wenig ausgebildet. Sie werden niedriger, breiter, höckerig und zweiteilig, insbesondere die letzten beiden (FUENTES TAPIA, 1953).

Am kranialen Ende des Kreuzbeines ist auf beiden Seiten medial der Kreuzbeinflügel jeweils ein Proc. articularis cranialis ausgebildet (FUENTES TAPIA, 1953). Die Gelenkfortsätze sind bei den Neuweltkameliden im Querschnitt konkav, außer beim Guanako, bei dem sie schraubenförmig sind (BENAVENTE ANINAT et al., 1993). Der ventrale Anteil der Gelenkflächen besitzt eine kaudoventrale Verlängerung und wird am kaudalen Ende recht gross (PACHECO TORRES et al., 1979). Die kranialen Gelenkfortsätze sind ziemlich ausgeprägt, konkav und zeigen direkt nach innen (FUENTES TAPIA, 1953).

2.2.5 Schwanzwirbel (Vertebrae caudales)

Die Schwanzwirbelsäule besteht beim Lama aus 10-15 Wirbeln. Die ersten 3-4 Schwanzwirbel weisen Querfortsätze und einen Wirbelbogen auf. Somit besitzt die Wirbelsäule in diesem Bereich noch einen Wirbelkanal (FOWLER, 2010b). Laut AZZOPARDI (2012) besitzen die ersten 6 Schwanzwirbel einen Wirbelbogen und somit einen Wirbelkanal, sowie Procc. mamillares. Laut FUENTES TAPIA (1953) ist der Wirbelkanal nur bis zum 5. Schwanzwirbel ausgebildet. Vom 1. bis 3.

Schwanzwirbel ist er noch deutlich ausgeprägt, um sich am 4. und 5. Schwanzwirbel stark zurück zu bilden und sich fast in Knochenfortsätze umzuwandeln (FUENTES TAPIA, 1953).

Die Wirbelkörper der ersten vier Schwanzwirbel sind abgeflacht. Der Körper vom 5. Schwanzwirbel ist zylindrisch. Die Wirbelköpfe sind abgerundet und konvex, während die *Extremitates caudales plan* sind (FUENTES TAPIA, 1953). Die Wirbelkörper verlieren zur Schwanzspitze hin zunehmend ihre Fortsätze und nehmen weniger an Länge, sondern hauptsächlich an Dicke ab (FUENTES TAPIA, 1953; PACHECO TORRES et al., 1979). Beide Wirbelenden sind konkav und die letzten Wirbel nur noch zylindrische Knöchelchen (FUENTES TAPIA, 1953). Die Form verändert sich von einem unregelmäßigen Quadrat über eine umgedrehte Birne zu einem linearen Rechteck. Hauptsächlich bei älteren Tieren kommt es vor, dass der 1. Schwanzwirbel mit dem Kreuzbein verwachsen ist (FOWLER, 2010b; AZZOPARDI, 2012).

Die Dornfortsätze der ersten 3 Schwanzwirbel sind niedrig, dick und zweihöckerig. Ab dem 4. bis 5. Schwanzwirbel nehmen sie fortlaufend an Höhe ab bis nur noch Rudimente existieren und an den letzten Wirbeln komplett verschwunden sind (FUENTES TAPIA, 1953).

Die ersten Wirbel besitzen außerdem noch Querfortsätze (FUENTES TAPIA, 1953; AZZOPARDI, 2012; DOS SANTOS ROMERO, 2014): diese zeigen laterokaudal. Ihre Neigung nimmt von Wirbel zu Wirbel zu. Am 6. Schwanzwirbel sind die Querfortsätze klein und direkt nach außen geneigt (FUENTES TAPIA, 1953).

Die kranialen Gelenkfortsätze existieren nur an den ersten Schwanzwirbeln und zeigen dorsokranial. Sie können jedoch nicht mit dem kranial gelegenen Wirbel artikulieren, weil es keine kaudalen Gelenkfortsätze gibt (FUENTES TAPIA, 1953).

2.3 Verbindungen der Knochen der Wirbelsäule

Nach STOLWORTHY et al. (2015a) werden die Zwischenwirbelscheiben nach und nach breiter. Das gegabelte Lig. nuchae scheint gemeinsam mit der Muskulatur bedeutend für die Stabilisation des Halses in vertikaler Richtung zu sein (STOLWORTHY et al., 2015a).

2.3.1 Nackenband (Ligamentum nuchae)

Das Nackenband setzt sich beim Alpaka aus einer Lamina nuchae und einem Funiculus nuchae zusammen. Ab der Mitte der Brustwirbelsäule wird es als Lig. supraspinale bezeichnet (MCCRACKEN et al., 2013).

2.4 Faszien und Muskulatur des Rückens

Die Halswirbel des Alpakas werden nur von einer relativ dünnen Muskelschicht bedeckt (BARKER et al., 2015). Aufgrund der Rückbildung bzw. dem Fehlen der langen Halsmuskeln ist diese Schicht auch beim Dromedar sehr dünn (SMUTS & BEZUIDENHOUT, 1987a).

2.4.1 Faszien

Fascia superficialis

Die F. superficialis umhüllt beim Alpaka sehr eng den gesamten Halsbereich in Form eines Schlauches und zeigt keine spezifischen Merkmale im Vergleich zu den anderen Haussäugetieren. Sie haftet im kaudolateralen Bereich des Halses, in einem Zwischenraum, der dorsal vom M. trapezius und ventral vom M. brachiocephalicus begrenzt wird. Diese beiden Muskeln werden derart dicht von der Faszie umhüllt, dass es unmöglich ist, beide voneinander zu trennen. Im mittleren Drittel der Halsregion stellten sich bei zwei der von ARZONE and ROMERO (1994) seziierten Tiere zwei oder drei Muskelgruppen als Teil des M. cutaneus colli dar. Diese sind blassrot und 0,5 bis 1 cm breit, mit einem von dorsokranial nach ventrokaudal ziehenden Muskelverlauf ohne jedoch die Jugularrinne zu erreichen. Kranial setzt sich die Fascia superficialis in den Intermandibular-, Ohrspeicheldrüsen-, Ohr- und Okzipitalbereich fort. Kaudal geht sie in die F. superficialis des Thorax, Beckens und der Vordergliedmaße über. Die Haut der Halsregion besitzt eine beachtliche Dicke. Zudem findet sich in diesem Bereich ein derbes, diskontinuierliches, „flickenartiges“ Fettgewebe, welches die Vorwölbungen der Procc. transversi begleitet (ARZONE & ROMERO, 1994).

2.4.2 Hautmuskeln (Mm. cutanei)

Das Lama besitzt wie das Kamel keinen Rumpfhautmuskel und ein stark reduziertes Platysma (LESBRE, 1903b). Nach GHEZZI (1994) besitzt das Lama auch im Halsbereich keinen Hautmuskel.

Hautmuskel des Halses (Platysma)

Bei einigen Individuen findet man einzelne Muskelfasern, die sich mit der F. superficialis des Halses verbinden und sich bei ventrodorsalem Verlauf in der medianen Raphe treffen. Im Gesichtsbereich ist der Muskel im Gegensatz zur Halsregion schwach entwickelt. Von diesem Muskel trennen sich einige Fasern ab, um sich mit der Gesichtsmuskulatur zu verbinden (MENDOZA & MONTROYA, 2002). Nach den Zeichnungen von MCCracken et al. (2013) findet sich ein Hautmuskel vor allem ventral entlang des Halses und vereint sich dorsal mit der F. superficialis.

2.4.3 Besondere Bewegungen des Kopfes

M. rectus capitis ventralis

Dieser kurze und fleischige Muskel verbindet den ventralen Atlasbogen mit dem Os basioccipitale und dem M. longus capitis, den er kranial überkreuzt (SMUTS & BEZUIDENHOUT, 1987a).

M. rectus capitis lateralis

Der M. rectus capitis lateralis ist ein kleiner, spindelförmiger Muskel, der vollständig vom M. obliquus capitis cranialis bedeckt wird (ARZONE & ROMERO, 1994).

M. rectus capitis dorsalis major

Der M. rectus capitis dorsalis major entspringt entlang der gesamten Länge des Proc. spinosus des Axis. Der Muskel zieht an das Ende der Crista occipitalis externa. Sein fleischiger Ursprung flacht dorsoventral ab und sein Ansatz erfolgt über eine flache Sehne. Er bedeckt den M. obliquus caudalis und den M. rectus dorsalis minor fast vollständig (ARZONE & ROMERO, 1994).

M. rectus capitis dorsalis minor

Dieser Muskel entspringt am Proc. spinosus des Axis und an der Dorsalfläche des Atlasbogens (ARZONE & ROMERO, 1994). Er geht wie auch der M. rectus capitis

dorsalis major aus den Mm. interspinales hervor, die vom Os occipitale an den Axis bzw. Atlas ziehen (LESBRE, 1903b). Seine Endsehne inseriert an der Tuberositas der Crista occipitalis externa und zum Teil an der Protuberantia occipitalis externa. Er liegt zwischen dem M. rectus capitis dorsalis major, dem M. obliquus capitis caudalis und kranial am Kopf (ARZONE & ROMERO, 1994).

M. obliquus capitis cranialis

Der M. obliquus capitis cranialis entspringt am Atlasflügel und füllt die Fossa atlantis bis an den kaudalen Rand des Atlas aus. Als kleiner, gerader Muskel, der kranial vom M. obliquus capitis caudalis liegt (MENDOZA & MONTOYA, 2002), füllt dieser die Atlasgrube teilweise aus (ARZONE & ROMERO, 1994). Der Ansatz erstreckt sich über den Proc. jugularis, den Proc. mastoideus, die Protuberantia occipitalis externa bis zur Tuberositas, an welcher der M. rectus capitis und der M. semispinalis capitis ansetzen (ARZONE & ROMERO, 1994).

Der schiefe Kopfmuskel streckt das Atlantookzipitalgelenk (ANDREASEN et al., 1998).

M. obliquus capitis caudalis

Der M. obliquus capitis caudalis entspringt dorsolateral am Axis und erstreckt sich über die dorsolaterale Oberfläche des kranialen Halsdrittels (MENDOZA & MONTOYA, 2002). Es handelt sich um einen sehr voluminösen Muskel, der die dorsale und laterale Fläche des Atlas und Axis komplett bedeckt (ARZONE & ROMERO, 1994). Er steht oberflächlich mit dem M. rhomboideus, dorsal mit dem Lig. nuchae und lateral mit der ersten Portion des M. intertransversarius dorsalis in Verbindung (MENDOZA & MONTOYA, 2002). Mit einem mehr oder weniger spindelförmigen Bauch, zieht der Muskel kranial, um am Atlasflügel und Proc. jugularis des Os occipitale anzusetzen. Die Tatsache, dass der Muskel an zwei verschiedenen Punkten entspringt, erweckt den Anschein einer Zweiteilung des Muskels (ARZONE & ROMERO, 1994).

M. longus capitis

Der M. longus capitis entspringt beim Lama kranial am Proc. transversus des 3. Halswirbels. Ein weiteres Muskelbündel beginnt ventral am Axis und verschmilzt mit dem restlichen Muskel. Seinen Ansatz findet der Muskel auf Höhe des Tuberculum musculare des Os basioccipitale (ARZONE & ROMERO, 1994).

MENDOZA and MONTOYA (2002) bezeichnen diesen aus zwei Bäuchen bestehenden Muskel als M. longus ventralis major et minor. Die große Portion liegt weiter ventral als die kleinere Portion.

Oberflächlich stehen die Muskelbündel mit dem M. omohyoideus und in der Tiefe mit dem M. longus colli in Verbindung. Dorsal verbinden sie sich mit den Mm. intertransversarii ventrales. Ventral bekommt der Muskel Kontakt mit der Trachea, der V. jugularis externa und der Schilddrüse (MENDOZA & MONTOYA, 2002).

2.4.4 Besonder Bewegungen der Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule

Das Muskelsystem entlang des Halses unterstützt das Gleichgewicht während der Fortbewegung und erlaubt sehr flexible Bewegungen (GUNSSER, 2011).

2.4.4.1 Lange Hals- und Rückenmuskeln

Oberflächliche Schicht

M. splenius

Der M. splenius ist ein großer Muskel, der sich über die gesamte dorsale Oberfläche des Halses ausbreitet und eng mit dem Lig. nuchae verbunden ist. Er entspringt aus der Fascia dorsalis des Halses und an den Dornfortsätzen der Halswirbel. Er füllt den Raum zwischen den Quer- und Dornfortsätzen der Halswirbel aus (MENDOZA & MONTOYA, 2002). Laut LESBRE (1903b) findet sich der M. splenius beim Lama im kranialen Viertel oder Fünftel des Halses. Am restlichen Hals findet sich nur eine Aponeurose, die dem M. complexus aufliegt und mit der Aponeurose des M. latissimus dorsi („Muscle grand dorsal“*) in Richtung des Brusteingangs zieht und sich in Richtung des Kopfes verjüngt (LESBRE, 1903b). Entlang seines Verlaufs, entsendet der Muskel einige Fasern an den M. complexus und die Gelenkfortsätze. Oberflächlich ist er mit dem M. trapezius cervicalis und dem mittleren und kranialen

* Nicht in der (NAV, 2017) gelistet. Begriff aus (LESBRE, 1903b)

Anteil der dorsalen Aponeurose des M. brachiocephalicus in Verbindung. In der Tiefe verbindet der Muskel sich mit dem Lig. nuchae und dem M. complexus (MENDOZA & MONTOYA, 2002).

Der M. splenius ist ein flacher, ungefähr 2 cm breiter, schlanker Muskel. Er entspringt im mittleren Drittel des Halses mittig aus der F. profunda am Funiculus nuchae auf Höhe des 3. und 4. Halswirbels. Er setzt mit einer dünnen Sehne am Proc. jugularis an. Diese ist nur schwer von dem dazugehörigen M. longissimus capitis, mit welchem der M. splenius Muskelfasern austauscht, zu trennen. Es existieren keine fleischigen Bereiche, die auf einen M. splenius cervicis hindeuten, obwohl auf halbem Weg eine Befestigung an der tiefen Faszie vorliegt. Aus diesem Grund ist es zu erwarten, dass bei den Kameliden angesichts ihrer besonderen anatomischen Architektur eine große Entwicklung stattgefunden hat (ARZONE & ROMERO, 1994).

Mittlere Schicht

M. iliocostalis cervicis

Die kranialste Portion des M. iliocostalis („M. cervicalis ascendens“*) erstreckt sich vom Wirbelende des ersten Rippenpaares bis zum Querfortsatz des letzten Halswirbels und verschmilzt mit Fasern des M. intertransversarius dorsalis. Ventral ist er mit dem M. scalenus ventralis, oberflächlich mit dem M. serratus ventralis cervicis und in der Tiefe mit dem letzten Halswirbel verbunden (MENDOZA & MONTOYA, 2002).

Beim Lama besteht der M. iliocostalis aus einem ungefähr 1 cm breiten Strang. Seine Bündel erstrecken sich vom letzten bis zum 4. Halswirbel jeweils zwischen den Querfortsätzen benachbarter Wirbel. Dorsal verschmelzen sie mit den Endaponeurosen des M. longissimus cervicis. Es sind noch andere breitere Muskelbündel zu finden, die sich eng mit den Mm. intertransversarii ventrales vereinen. Der M. intertransversarius ventralis existiert nicht zwischen dem 7. Hals- und dem 1. Brustwirbel. Er wird von Fasern des M. iliocostalis cervicis ersetzt (ARZONE & ROMERO, 1994).

Der „Muscle intercostal commun ou sacrolombaire“ besteht aus 2-3 Bündeln, zu welchen sich weitere Muskelbündel gesellen, die sich teilweise überlappen und bis an den Querfortsatz des 7. Halswirbel ziehen (LESBRE, 1903b).

* Nicht in der (NAV, 2017) gelistet. Begriff aus (MENDOZA & MONTOYA, 2002)

M. longissimus

Der *M. longissimus cervicis* wird lateral vom *M. longissimus thoracis* und medial vom *M. semispinalis capitis* begrenzt. Er hat seinen Ursprung an den Querfortsätzen des 3. bis 5. Halswirbels und zieht bis an die Querfortsätze der letzten 4 Halswirbel. Er unterscheidet sich hinsichtlich des Ursprungs, des Ansatzes, der Struktur und der räumlichen Verhältnisse im Allgemeinen nicht von denen anderer Spezies. Er verhält sich wie ein großer *M. intertransversarius*, der beim Wiederkäuer, Pferd und Hund typischerweise auf diesen lateral aufgelagert ist (ARZONE & ROMERO, 1994).

Der *M. longissimus capitis et atlantis* bezeichnet zwei Anteile des Longissimus-Systems, die sich ihren Ursprung an den Querfortsätzen der ersten 3 Brustwirbel teilen. Die Muskelbäuche sind eng verschmolzen und scheinen durch kleine Aponeurosen verbunden zu sein. Diese inserieren an den Gelenkfortsätzen bis zum 3. Halswirbel, ab welchem sie sich teilen, um an ihre Ansatzpunkte zu ziehen. Im kranialen Drittel der Halsregion trennen sich die beiden Portionen und bilden zwei 1-2 cm breite Sehnen, die am kaudolateralen Rand des Atlasflügels (*M. longissimus atlantis*) bzw. am Proc. jugularis (*M. longissimus capitis*) enden (ARZONE & ROMERO, 1994).

Tiefes System: Transversospinale Muskulatur

Der ***M. spinalis cervicis*** entspringt an den Procc. spinosi der ersten 5 Brustwirbel, um an den Dornfortsätzen der letzten 3 zervikalen Segmente anzusetzen. An der medialen Seite steht er mit den Dornfortsätzen der Brustwirbel und der Lamina nuchae, und lateral mit den Anteilen des *M. semispinalis thoracis* und des *M. semispinalis capitis* in Kontakt (ARZONE & ROMERO, 1994).

Beim ***M. spinalis et semispinalis thoracis*** handelt sich um einen trapezförmigen Muskel, der dem *M. longissimus thoracis* dorsal anliegt. Ab der 7. Rippe zieht er in Richtung des Halses, wo er sich mit dem *M. serratus ventralis cervicis* vereint und einige seiner Fasern mit diesem austauscht, um schlussendlich an den Gelenk- und Querfortsätzen des 3. Halswirbels anzusetzen. Im Halsbereich befindet er sich in der Tiefe der ventralen Portion des *M. serratus* und oberflächlich der letzten Muskelbündel der *Mm. intertransversarii* (MENDOZA & MONTROYA, 2002).

Der **M. semispinalis cervicis** entspringt auf Höhe der Hälfte der Aponeurose des M. complexus am 1. Brustwirbel, z.T. auch an den Querfortsätzen der ersten vier Brustwirbel und an den kranialen Gelenkfortsätzen der letzten vier Halswirbel. Dort entspringen zusätzlich 8 große Muskelzacken, die mit dem M. multifidus in Verbindung stehen und von diesem bedeckt werden. Der M. semispinalis cervicis und der M. multifidus sind nur schwer voneinander zu trennen. Der Ansatz erfolgt am Ende der Procc. spinosi vom 2. bis 5. Halswirbel, wodurch sich seine Zugehörigkeit zum transversospinalen System klar zeigt. Er bildet mehrgliedrige Bündel, meist dreigliedrig. An der Halsbasis liegt der M. semispinalis cervicis zwischen dem Ursprung des M. biventer cervicis („M. digastricus cervicalis“*) und dem M. splenius cervicis (ARZONE & ROMERO, 1994).

Der **M. semispinalis capitis** besteht beim Lama aus zwei Portionen: dem dorsalen M. biventer cervicis und dem ventralen M. complexus.

Der M. biventer cervicis entspringt mit dünnen Sehnen an den Procc. transversus der ersten 5 Brustwirbel. Diese werden sofort zu fleischigen Muskelbäuchen, die trotz Verbindungen untereinander differenziert werden können. Die Unterscheidung erfolgt durch die sehnigen Einzüge, von denen am Hals stets 5 zu finden sind. Von diesen Schnittstellen ist die am weitesten kranial gelegene, die auffälligste. Der dorsale Rand und die mediale Fläche des M. biventer cervicis stehen über schlaffes Bindegewebe mit dem Funiculus und der Lamina nuchae in Verbindung (ARZONE & ROMERO, 1994).

Der M. complexus liegt ventral des M. biventer cervicis und entspringt an den kranialen Gelenkfortsätzen der letzten 5 Halswirbel. Er bildet fünf klar trennbare Muskelbündel, die sich dorsal miteinander verbinden, um dann mit dem M. biventer zu verschmelzen (ARZONE & ROMERO, 1994). Die Ansätze des M. semispinalis capitis werden an der Crista nuchae und der Protuberantia occipitalis externa durch eine starke Sehne gebildet (ARZONE & ROMERO, 1994).

Aus der Aponeurose die den M. semispinalis capitis bedeckt, entspringen Fasern die sowohl dem M. longissimus cervicis in der Brust- und kaudalen Halsregion, als auch dem M. longissimus atlantis auf Höhe vom 4. und 5. Halswirbel als Ursprung dienen. Die sehnigen Einzüge des M. biventer cervicis erlauben die Unterscheidung der

* Nicht in der (NAV, 2017) gelistet. Begriff aus (ARZONE & ROMERO, 1994)

einzelnen Muskelbäuche nur im kaudalen Hals- und kranialen Brustbereich bis zum 4. Brustwirbel. Sie vereinen sich mit dem M. complexus (ARZONE & ROMERO, 1994).

Kaudal verbindet sich der M. semispinalis capitis mit dem M. spinalis et semispinalis thoracis, welcher sich kranial im Hals durch eine Muskelzunge darstellt und medial mit dem Ursprung des M. complexus, der in die Richtung des 1. Brustwirbels zieht. Lateral wird der Muskel durch eine Wand der Fascia spinocostotransversalis getrennt (ARZONE & ROMERO, 1994). Der M. complexus des Lama ist groß und inseriert an der Wirbelsäule mittels drei aufeinanderfolgender Portionen, die klar voneinander getrennt sind und kraniodorsal ziehen wo sie sich vereinen (LESBRE, 1903b).

Dieser Muskel wird von MENDOZA and MONTOYA (2002) als „M. transversos espinales del cuello“ bezeichnet. Einige Autoren betrachten ihn als die ventrale Portion der Mm. spinales et semispinales. Er besteht aus 6 bis 7 Segmenten ventral an den Mm. semispinales und dem Lig. nuchae. Die einzelnen Muskelbündel entspringen an den Gelenkfortsätzen der 2 bis 3 ersten Brust- und der 4 letzten Halswirbeln. Sie ziehen kraniodorsal an die Dornfortsätze der Halswirbel. Das letzte Segment ist recht gut entwickelt und inseriert am Atlasflügel und am Os occipitale. Dorsal steht er mit dem Lig. nuchae und den Mm. spinales et semispinales in Verbindung, ventral mit dem dorsalen Muskelbündel der Mm. intertransversarii und in der Tiefe mit den Halswirbeln, sowie oberflächlich mit dem M. splenius (MENDOZA & MONTOYA, 2002).

Mm. multifidi

Der M. multifidus cervicis besteht aus ein- und zweigliedrigen Muskelbündeln: in jedem Segment finden sich zwei Bäuche, die durch Muskelausläufer des M. semispinalis cervicis getrennt werden. Der laterale Muskelstrang (in Bezug auf den M. semispinalis cervicis) entspringt am kranialen Proc. articularis des einen Wirbels und inseriert in kranialer Richtung am kaudalen Gelenkfortsatz des übernächsten. Der mediale Strang ist eingliedrig. Er zieht vom Proc. articularis caudalis eines Wirbels an den Proc. spinosus des kranial gelegenen Wirbels. Der am weitesten kranial gelegene Ansatz erfolgt auf Höhe des 3. Halswirbels (ARZONE et al., 2008).

2.4.4.2 Kurze Hals- und Rückenmuskeln

Mm. intertransversarii

Die Mm. intertransversarii bestehen aus kräftigen, klar trennbaren Faserbündeln. Sie finden ihren Ursprung lateral an den kranialen Gelenkfortsätzen und inserieren dorsal in der kranialen Hälfte an den Querfortsätzen der kranial liegenden Wirbel. Eine praktische Richtlinie, um die Mm. intertransversarii vom Rest der episomatischen Muskulatur zu trennen, ist, den Austritt der Rr. ventrales der Nn. cervicales zu betrachten (ARZONE et al., 2008).

Bei den **Mm. intertransversarii cervicis** handelt sich um segmentierte Muskeln, die sich entlang der gesamten Breite der dorsolateralen Fläche des Halses befinden. Sie stehen mit den Querfortsätzen der Halswirbel in Verbindung und bilden auf diese Weise zwei parallel verlaufende Stränge. Der dorsale Strang verläuft oberhalb und der ventrale Strang unterhalb der Querfortsätze. Der **dorsale Strang** zieht von den Procc. articulares der Halswirbel an die Querfortsätze der Halswirbel und die Aponeurosen der angrenzenden Muskulatur. Der **Ventralstrang** zieht von dem gleichen Ursprung an die Wirbelkörper der Halswirbel und die Fascia ventralis. Der Muskel ist durch verschiedene Portionen, die sich segmental zwischen zwei Halswirbel legen, in 8 dorsale und 7 ventrale Bündel gegliedert. Der ventrale Strang vereint sich an seinem kaudalen Ende mit den Fasern der Mm. scaleni (MENDOZA & MONTROYA, 2002).

Die Mm. intertransversarii ventrales cervicis verbinden die Querfortsätze miteinander. Sie bestehen aus einer eher oberflächlichen, lateralen Schicht und einer tiefen, medialen Schicht und werden von den Rr. ventrales der Halsnerven innerviert. Die laterale Schicht besteht aus längeren Muskelfasern, die vom Tuberculum ventrale kraniodorsal an das Tuberculum dorsale des übernächsten, kranialen Wirbels ziehen, sowie aus kürzeren Muskelfasern, die das Tuberculum ventrale des angrenzenden Wirbels erreichen. Der am weitesten kaudal gelegene Muskelbauch entspringt kranioventral an der Lamina des 6. Halswirbels. Der kranialste Ansatz erfolgt am Atlasflügel unter dem Ansatz des M. intertransversarius dorsalis cervicis (SMUTS & BEZUIDENHOUT, 1987a).

Mm. intertransversarii lumborum

Zwischen den Procc. transversus der Lendenwirbel, sowie zwischen dem letzten Brust- und dem ersten Lendenwirbel sind Muskelfasern ausgespannt. Kurze horizontale, dorsale Muskelbündel verbinden die benachbarten Procc. articulares et mamillares der Lendenregion und die Gelenk- und Querfortsätze des 10. bis 12. Brustwirbels (SMUTS & BEZUIDENHOUT, 1987a).

Mm. interspinales

Im Halsbereich sind die Mm. interspinales beim Lama nicht klar von der restlichen Muskulatur abgrenzbar, sondern mit dem M. spinalis („Muscle lateral épineux“) oder den Mm. multifidi verschmolzen (LESBRE, 1903b).

Mm. rotatores

Die Mm. rotatores befinden sich medial der Mm. multifidi an der Lenden- und Brustwirbelsäule. Es werden die langen Mm. rotatores, die einen Wirbel überspringen, von den kurzen Mm. rotatores, die zwei benachbarte Wirbel verbinden, unterschieden. Sie entspringen an den kranialen Gelenkfortsätzen und inserieren am Dornfortsatz des kranial gelegenen Wirbels (SMUTS & BEZUIDENHOUT, 1987a).

2.4.4.3 Abwärtsbieger der Halswirbelsäule

M. longus colli

Der M. longus colli entspringt beim Alpaka ventral am 1. Halswirbel und verteilt sich über die gesamte ventrale Fläche der Halswirbel vom Kopf bis in den Brustbereich. Er ist in mehrere Bündel und deren sehnige Ansätze unterteilt, die schräg kranio-lateral ziehen. Seinen Ansatz hat der Muskel ventral an den Wirbelkörpern der Halswirbel und am 1. Brustwirbel. Ventral steht er mit der Trachea, dem Ösophagus und der V. carotidea*, dorsal mit den Wirbelkörpern der Halswirbel und der ersten Brustwirbel in Kontakt (MENDOZA & MONTTOYA, 2002).

M. scalenus

Der M. scalenus entspringt beim Alpaka lateral am kranialen Rand des ersten Rippenpaares und zieht an die Querfortsätze der Halswirbel. Oberflächlich steht er

* Nicht in der (NAV, 2017) gelistet. Begriff aus (MENDOZA & MONTTOYA, 2002)

mit dem M. cleidocervicalis, in der Tiefe mit den Mm. intertransversarii und ventral mit dem M. sternocephalicus und sternohyoideus in Verbindung (MENDOZA & MONTOYA, 2002). Beim Lama entspringt er komplett an der ersten Rippe. Der Plexus brachialis zieht außen über den M. scalenus. Er besitzt dorsale, ventrale und schräge Fasern. Diese ähneln den Mm. intertransversarii des Halses (LESBRE, 1903b).

2.4.5 Lange Zungenbeinmuskeln (Mm. hyoidei)

M. sternohyoideus

Der M. sternohyoideus und der M. sternocephalicus werden zusammen beschrieben, weil an ihrem Ursprung am Manubrium sterni keine Teilung der beiden Muskeln zu erkennen ist. Aufgrund von gemeinsamen Fasern, die auf ihrer gesamten Breite entlang der ventralen Fläche des Halses verlaufen, erscheinen sie verschmolzen. Sie trennen sich am kranialen Ende in der Nähe ihres Ansatzortes, wo der M. sternocephalicus an den Schädel und der M. sternohyoideus an das Zungenbein zieht (MENDOZA & MONTOYA, 2002). Es handelt sich um einen langen und dünnen Muskel, der sich vom Manubrium sterni bis an den Schädelknochen und das Zungenbein erstreckt (MENDOZA & MONTOYA, 2002). Er teilt sich in sehr feine Muskelbündel auf, die von bindegewebigen Sehnen begleitet werden. Dadurch entstehen verschiedene Portionen. In seinem Endabschnitt, auf Höhe des kranialen Halsdrittels, teilt sich der Muskel in zwei Portionen. Eine Portion, der M. sternomastoideus zieht von unterhalb der Glandula mandibularis und den Ursprüngen der V. jugularis externa an den Proc. mastoideus des Os temporale (daher wird nur die Portion des M. sternomastoideus berücksichtigt). Die zweite Portion, der M. sternohyoideus endet am Zungenbein, wobei sich diese mit einigen Hautmuskelfasern verbindet. In dieser Beschreibung werden der M. sternomandibularis und sternoccipitalis nicht beachtet, weil diese nicht beobachtet wurden. In der Tiefe besteht eine Verbindung mit der Trachea, der V. jugularis externa, dem Ösophagus und der V. carotis communis. Oberflächlich sind die Muskeln mit dem Hautmuskel, der Haut und der Faszie in dieser Region verbunden (MENDOZA & MONTOYA, 2002).

M. sternothyreoideoideus

Der M. sternothyreoideoideus entspringt am Manubrium sterni um am Schildknorpel (M. sternothyreoideus) und am Basihyoid (M. sternohyoideus) anzusetzen. In seiner Mitte besteht er aus einem rein sehnigen Anteil, der sich vom 5. bis zum 3. Halswirbel erstreckt. Auf Höhe des Axis teilt er sich in 2 Portionen, von denen der M. sternothyreoideus ventral der Glandula thyroidea unter dem M. cervicothyoideus hindurchzieht und am Schildknorpel ansetzt (ARZONE & ROMERO, 1994).

Der Ursprung des **M. sternothyreoideus** erfolgt gemeinsam mit dem M. sternohyoideus am Sternum. Auf Höhe des mittleren Halsdrittels trennen sich beide Muskeln vom M. sternocephalicus. Im kranialen Bereich der Halswirbelsäule jedoch lässt sich schließlich eine klare Trennung zwischen beiden Zungenbeinmuskeln erkennen: die Fasern des M. sternothyreoideus ziehen kraniodorsal in Richtung des Larynx (Cartilago thyroidea), während die Fasern des M. sternohyoideus ventral am Hals entlang ziehen (MENDOZA & MONTTOYA, 2002). Der M. sternothyreoideus wird mittig von einer langen Sehne unterbrochen (LESBRE, 1903b). Auf der rechten Seite besitzt er einen unpaaren sehnigen Schenkel, der am Schilddrüsengrund inseriert sowie zwei Schenkel, die seitlich an die Schildknorpel ziehen (GHEZZI, 1994).

In der Tiefe steht er mit der Trachea und der V. jugularis externa in Verbindung, während er oberflächlich mit dem M. sternohyoideus und dem Hautmuskel des Halses in Kontakt tritt (MENDOZA & MONTTOYA, 2002).

M. omohyoideus

Der M. omohyoideus liegt an der lateralen Oberfläche des kranialen Halsdrittels. Seine Struktur im Ursprungsbereich ist deutlich aponeurotisch und verbindet sich über seine gesamte Länge mit der Aponeurose des M. brachiocephalicus. Sein Ursprung scheint an der Portio cleidomastoidea des M. brachiocephalicus zu erfolgen (MENDOZA & MONTTOYA, 2002). Seine bandartigen Aponeurosen entspringen zwischen dem M. longus colli und den Mm. intertransversarii am Os basihyoideum und thyrohyoideum. Er bedeckt die Schilddrüse, den Ansatz des M. sternothyreoideus und dessen mediale Verbindung mit dem M. thyreoideoideus. Lateral tritt er mit der Sehne des M. sternomastoideus in Verbindung und kranial mit dem Scheitelpunkt der Glandula parotidea und des Ln. mandibulare, welcher den Ansatz des M. cervicothyoideus teilweise bedeckt (ARZONE & ROMERO, 1994; MENDOZA & MONTTOYA, 2002). ARZONE and ROMERO (1994) bezeichnen ihn

allerdings als *M. cervicohyoideus*. Er zieht in Form eines breiten Gürtels kranioventral bis zum Zungenbein, wo er inseriert. Er besitzt Verbindungen mit dem *M. brachiocephalicus* und *M. sternocephalicus*, sowie in der Tiefe mit der Muskulatur des Pharynx und Larynx (MENDOZA & MONTOYA, 2002). Laut GHEZZI (1994) ersetzt der *M. cervicohyoideus* den *M. omohyoideus*, vorausgesetzt, dass dieser als solches nicht existiert. Im distalen Teil des Halses trennt er die *V. jugularis externa* von der *A. carotis communis* (GHEZZI, 1994).

M. sternotympanicus

Der *M. sternotympanicus* ist dem *M. sternocephalicus* ähnlich; er entspringt am Manubrium sterni, setzt aber im Unterschied zu letzterem an der *Bulla tympanica* an. Er hat an seinem oberen Teil eine Sehne, die als Referenz beim Sezieren der *A. carotis communis* dient (GHEZZI, 1994).

3 Material und Methoden

Die Präparationen, die dieser Arbeit zugrunde liegen, wurden alle in den Präparationsräumen des Lehrstuhls für Anatomie, Histologie und Embryologie der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) in München durchgeführt. Sie erfolgten in dem Zeitraum vom November 2015 bis Januar 2017.

3.1 Material

Bei den untersuchten Alpakas (*Tabelle 1*) handelte es sich sowohl um Tiere männlichen als auch weiblichen Geschlechtes. Mit Ausnahme eines 6,5-Monate alten Fohlens, waren es ausschließlich adulte Tiere im Alter von 3,5 bis 20 Jahren. Von den sezierten Alpakas mussten 5 Tiere aufgrund einer medizinischen Indikation, die nicht den Bewegungsapparat betraf, euthanasiert werden, während eines tot auf der Weide aufgefunden wurde. Fünf Tiere gehörten der Rasse der Huacaya-Alpakas an; ein Tier war ein Suri-Alpaka (*Tabelle 2*).

Tabelle 1: Anzahl der untersuchten Tiere (n = 6)

Alpakarasse	Anzahl
Huacaya	5
Suri	1
Gesamt	6

3.2 Methoden

3.2.1 Anatomische Präparation der Tiere

Die Tiere kamen bereits tot am Lehrstuhl für Anatomie, Histologie und Embryologie der LMU an und wurden dort umgehend mittels verschiedener Methoden konserviert. Nach dem stumpfen Abziehen der Haut wurde die Muskulatur des Stammes vorsichtig freigelegt und schichtweise abgetragen. Für diesen Zweck wurde das übliche anatomische Präparierbesteck verwendet.

Tabelle 2: Nationale der verwendeten Tiere (n=6)

Rasse	Geschlecht	Alter	Gewicht
Huacaya	weiblich	3,5 Jahre	55kg
Huacaya	männlich	adult (genaues Alter nicht bekannt)	72 kg
Huacaya	weiblich	20 Jahre	44 kg
Huacaya	weiblich	6,5 Monate	25 kg
Suri	männlich	18 Jahre	40 kg
Huacaya	weiblich	5 Jahre	52 kg

3.2.2 Konservierung der Tierkörper mittels Ethanolinjektion

Nach dem Transport der toten Tiere an den Lehrstuhl für Anatomie, Histologie und Embryologie wurde die rechte bzw. linke A. carotis communis kaudal der Mandibula vorsichtig freipräpariert, um die umliegenden Strukturen nicht zu verletzen. Die Arterie wurde mit einem chirurgischen Knoten kopfwärts ligiert. Eine weitleumige Kanüle wurde in Richtung des Brustkorbes in die A. carotis communis eingeführt und zusammen mit der Arterie ligiert um ein Rausrutschen während der Injektion zu vermeiden. Dann wurden 0,1 L/kg einer Lösung bestehend aus 96%igem Ethanol, 1:1 verdünnt mit Wasser in das arterielle Blutgefäßsystem injiziert. Insgesamt dauerte die Injektion ungefähr 30 Minuten bei einer Frequenz von 120 Kolbenhüben pro Minute und einem Druck von 1,7 bar. Die Injektion wurde beim Austritt von schaumiger, rötlich-brauner Flüssigkeit aus beiden Nüstern, beendet. Daraufhin wurde der Tierkörper zwei Tage in der Kühlung bei 4° C gekühlt, um eine gleichmässige Verteilung des Alkohols im Gewebe sicher zu stellen.

3.2.3 Erstellung der Knochenpräparate

Nach Abschluss der Präparation wurden die Knochen so vollständig wie möglich vom restlichen Gewebe befreit. Durch den Wirbelkanal der Hals-, Brust- und Lendenwirbel wurde ein Bindfaden gefädelt, so dass die Reihenfolge der einzelnen Wirbel nach der

Mazeration noch nachvollzogen werden konnte. Die Knochen wurden schließlich in einer 10 %igen Waschmittellösung (Vollwaschmittel von Aro¹) bei 60-90°C in einem geschlossenen Behälter in einem Wärmeschrank (Firma memmert®) mazeriert. Der Fortschritt der Mazeration wurde regelmässig kontrolliert und bei Bedarf die Waschmittellösung erneuert und Gewebereste entfernt. Nach 3 bis 9 Tagen waren die Knochen vollständig von Muskulatur und Bändern befreit. Die Knochen wurden dann zur Entfettung in einem geschlossenen Behälter mit 99%igem Aceton für 9 Wochen eingelagert und schließlich für 3 Tage an der Luft getrocknet. Abschließend wurden die entfetteten Knochen in einem geschlossenen Behälter in einer Lösung, bestehend aus 3 Litern 7%igem Wasserstoffperoxid (H₂O₂) und 15 Litern Wasser über einen Zeitraum von 3 Tagen gebleicht.

3.2.4 Erstellung der Gefäßinjektionen mit Latex

Nach der Ethanolinjektion über die oben genannte Injektionsstelle wurden 600 mL flüssiges Latex (Firma La-Gum Professionell² Farbtyp rot) über die gleiche Kanüle bei zwei der Tiere eingegeben (Tabelle 3) eingegeben. Nach der Ethanolinjektion über die oben genannte Injektionsstelle wurden 600 mL flüssiges Latex (Firma La-Gum Professionell Farbtyp rot) über die gleiche Kanüle bei zwei der Tiere eingegeben. Die für diesen Zweck benutzten Kanülen hatten eine Größe von 2,1x80mm und wurden vorher stumpf geschliffen und poliert, um eine Verletzung der A. carotis communis und somit einen Austritt von Latexmilch an anderer Stelle zu vermeiden. Davor wurden die A. femoralis beider Beckengliedmaßen abgebunden, um die Menge an benötigtem Injektionsmedium zu reduzieren, einen Widerstand im Gefäßsystem zu erzeugen und somit eine möglichst vollständige Füllung mit Latexmilch der Gefäße zu erreichen. Die Injektion erfolgte per Hand mit Hilfe von 20 mL Einwegspritzen und wurde mit möglichst gleichmäßigem Druck per Hand injiziert. Eine Hilfsperson hielt dabei stets eine gefüllte Spritze bereit, um eine gleichmäßige Eingabe zu ermöglichen. Nach der Injektion wurde die Kanüle entfernt und der Stichkanal mit 10%iger Essigsäure verschlossen. Die Tiere wurden dann für 7 Tage bei 4°C gekühlt, um eine vollständige Aushärtung des Latex zu garantieren.

¹ ARO welding Technologies SAS, 1 Avenue de Tours BP 40161, 72500 Château du Loir France

² Ilona Strohpagel, Bei der alten Muehle 18, 25335 Elmshorn

Tabelle 3: Für die Erstellung von Gefäßausgüssen genutzten Tiere

Alpakarasse	Geschlecht	Alter	Gewicht	Volumen der injizierten Latexmilch
Huacaya	männlich	adult	72 kg	600 ml
Suri	männlich	18 Jahre	40 kg	600 ml

3.2.5 Lagerung der Präparate zwischen den Präparationsschritten

Zwischen den einzelnen Dissektionen wurden die Präparate in einer 10%igen Salz- (Nitrit-Pökelsalz jodiert 0,4-0,5 % Südsalz³) und einer 0,005%igen Formaldehydlösung (35% Formaldehyd VWR BDH Prolabor® Chemicals⁴) in der Kühlkammer des Institutes bei 4°C aufbewahrt. Bei längeren Zeitabständen zwischen den einzelnen Präparationsschritten wurden die Präparate bei -18° C tief gefroren und für die Präparation über eine Zeitdauer von 24 Stunden bei Zimmertemperatur im Wasserbad aufgetaut.

3.2.6 Anfertigung der Bilder

Die Fotos wurden mit einer digitalen Spiegelreflexkamera, Modell Olympus® Digital ED mit einem Olympus® Zuiko Digital ED 14-42mm f3.5-5.6 Objektiv, sowie einem Olympus® Zuiko Digital 35 mm f3,5 Makroobjektiv aufgenommen. Um die Größenverhältnisse im Nachhinein darstellen zu können, wurde jedes Präparat mit einem Lineal mit Millimeter und Zentimeterangaben fotografiert. Um die Entstehung von Glanzlichtern auf den Präparaten zu vermeiden, wurden die entsprechenden Polfilter (hama® PL CIR Ø 58 (IV) und Ø52) für die jeweiligen Objektive benutzt. Aus dem gleichen Grund wurden für Fotos unter dem Reostatativ, zusätzlich Polarisationsfolien eingesetzt. Die Fotos wurden auf einer schwarzen, matten Teichfolie aufgenommen, um eine spätere Nachbearbeitung am Computer zu erleichtern.

³ Südwestdeutsche Salzwerke AG, Salzgrund 67, 74076 Heilbronn

⁴ VWR International S.A.S., 201 rue Carnot, 94126 Fontenay-sous-Bois, France

Die Bilder wurden zunächst als JPEG-Datei auf einer Speicherkarte (Compact Flash SanDisk Ultra® II 2.0 GB, SanDisk®) gespeichert und schließlich auf den Computer übertragen.

3.2.7 Digitale Nachbearbeitung der Bilder

Die Fotos wurden mit Hilfe des Bearbeitungsprogrammes Adobe® Photoshop® CS5.1 nachbearbeitet. Dieses Programm erlaubte die Korrektur der Bilder wie die Entfernung von Glanzlichtern und das Beheben lichtbedingter Verfärbungen. Außerdem wurde der Hintergrund einheitlich schwarz eingefärbt. Auch die Nummerierung der Bilder, das Einfügen des Messbalkens, sowie das Hervorheben einzelner Strukturen wurden mit Hilfe von Adobe® Photoshop® durchgeführt.

4 Ergebnisse

4.1 Knochen der Wirbelsäule

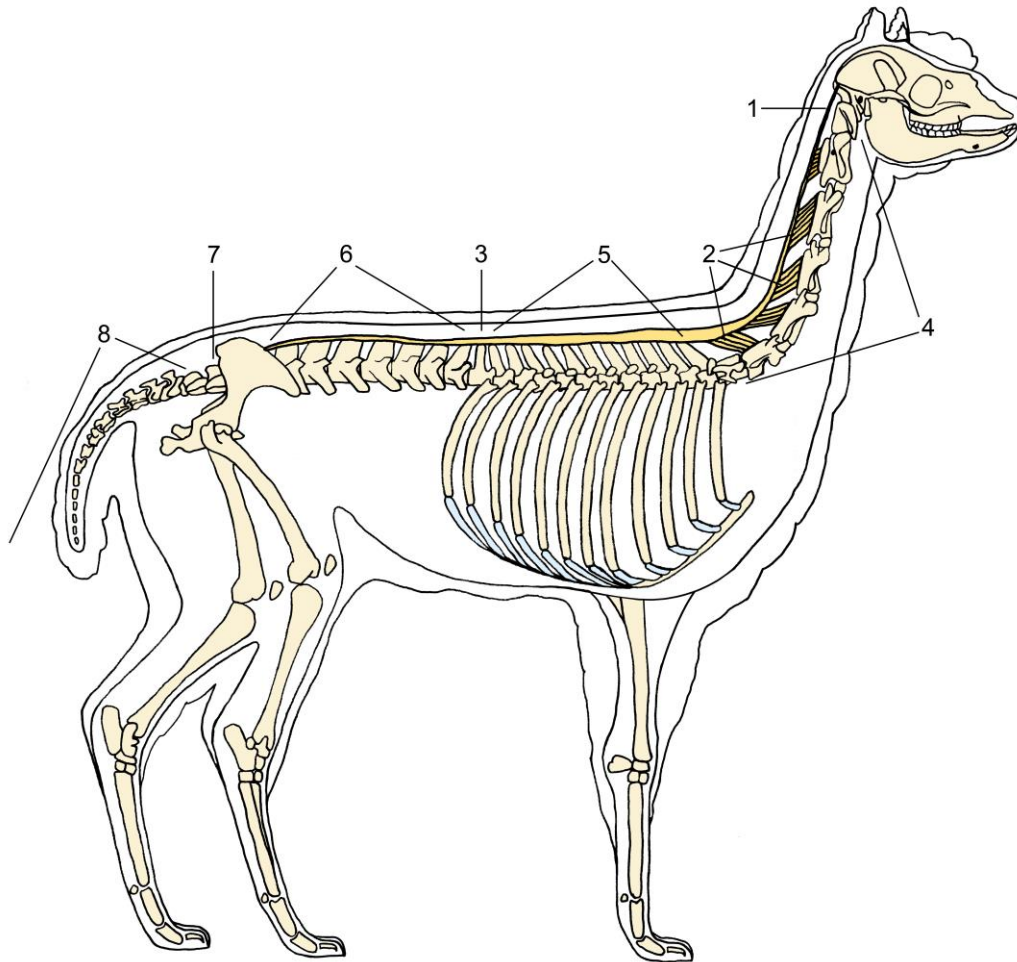


Abb. 1: Skizze des Bewegungsapparates eines adulten Alpakas (rechte Vordergliedmaße wurde entfernt).

1 Funiculus nuchae des Lig. nuchae; 2 Lamina nuchae des Lig. nuchae; 3 Lig. supraspinale; 4 Halswirbelsäule; 5 Brustwirbelsäule; 6 Lendenwirbelsäule; 7 Kreuzbein; 8 Schwanzwirbel

Die Wirbelsäule (Abb. 1) dient dem Ursprung und Ansatz der Stammesmuskulatur, der Aufhängung der Organe und umgibt durch die Bildung des Wirbelkanals das Rückenmark. Sie wird nach ihrer Lage in fünf Abschnitte (Tabelle 4) eingeteilt:

- Halswirbelsäule
- Brustwirbelsäule
- Lendenwirbelsäule
- Kreuzwirbelsäule
- Schwanzwirbelsäule

Tabelle 4: Anzahl der Wirbel

	Halswirbel	Brustwirbel	Lendenwirbel	Kreuzwirbel	Schwanzwirbel
Anzahl	7	12	7	4 -5	14 – 16

4.1.1 Halswirbel (Vertebrae cervicales)

Die Halswirbelsäule setzt sich beim Alpaka aus sieben Halswirbeln zusammen. Im Gegensatz zur restlichen Wirbelsäule weist die Halswirbelsäule eine große Beweglichkeit auf. Vor allem die Gelenke zwischen Hinterhauptsbein (Os occipitale) und erstem Halswirbel, sowie zwischen dem 1. und 2. Halswirbel sind sehr beweglich. Der besondere Aufbau der ersten zwei Halswirbel und der ersten beiden Gelenke mit ihren weiten Gelenkspalten ermöglicht die große Beweglichkeit des Kopfes.

Atlas

Der erste Halswirbel, Atlas, hat einen besonderen Aufbau. Er besteht aus einem dorsalen und einem ventralen Bogen (Arcus dorsalis und ventralis). Auf dem Dorsalbogen erhebt sich ein rudimentärer Dornfortsatz, das Tuberculum dorsale. Dieses erstreckt sich von der Mitte des Wirbels bis fast zum kaudalen Rand des Arcus dorsalis in Längsrichtung. Der ventrale Bogen trägt kaudal in der Medianen das Tuberculum ventrale, das ungefähr 2 mm kaudal über den Wirbel herausragt.

Der Querfortsatz erstreckt sich über die gesamte Länge des Seitenteils (Massa lateralis) des Atlas und wird als Ala atlantis bezeichnet. Die Atlasflügel dienen unter anderem den besonderen Drehern des Kopfes als Ursprungs- und Ansatzfläche. Dorsal finden sich außerdem eine Reihe von Öffnungen. Am weitesten kranial liegt jeweils beidseits das Foramen alare, welches in eine flache Rinne, die Atlasfurche übergeht. Die Atlasfurche zieht bis zum lateralen Rand des Atlasflügels. Medial und etwas kaudal des Foramen alare liegt das Foramen vertebrale laterale. Es besteht eigentlich aus zwei Öffnungen, die durch einen feinen, schräg von kranio-lateral nach kaudomedial ziehenden Knochensteg voneinander getrennt werden. Am kaudalen Ende an der Basis des Arcus dorsalis befindet sich auf beiden Seiten das Foramen transversarium. Beidseits an der Flügelunterfläche ist die Fossa atlantis, Atlasgrube. In diese Grube öffnet sich von kaudal das Foramen transversarium.

Die Gelenkflächen sind am Atlas nicht als Knochenfortsätze ausgebildet, sondern sind in die zwei Wirbelbögen integriert. Am kopfseitigen Ende befinden sich beidseits

die tief ausgehöhlten, kommaförmigen Gelenkflächen, Foveae articulares craniales, die mit den Gelenkknollen des Hinterhauptsbeines (Condyli occipitales) gelenkig in Verbindung stehen. Zur Artikulation mit dem Dens axis ist kaudal am Boden des Wirbelkanals die Fovea dentis ausgebildet. Lateral der Fovea dentis liegen zwei flache Gelenkfortsatzflächen (Foveae articulares caudales), die mit den kranialen Gelenkfortsätzen des Axis artikulieren.

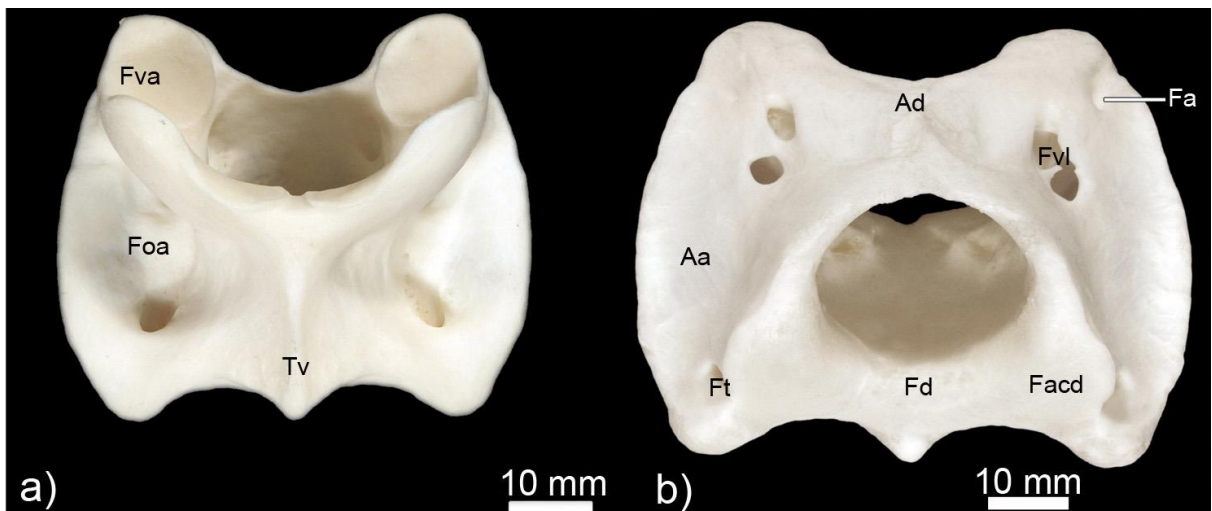


Abb. 2: Atlas einer 3,5 Jahre alten Stute Huacaya-Stute a) kranioventrale Ansicht; b) kaudodorsale Ansicht).

Aa = Ala atlantis; Ad = Arcus dorsalis; Fa = For. alare; Facd = Facies articularis caudalis; Fd = Fovea dentis; Foa = Fossa atlantis; Ft = For. transversarium; Fva = Fovea articularis cranialis; Fvl = For. vertebrale laterale; Tv = Tub. ventrale

Axis

Der Axis (Abb. 3), Epistropheus oder Umdreher, nähert sich in seinem Aufbau deutlich den folgenden Halswirbel an. Er besteht aus einem Wirbelkörper (Corpus vertebrae), einem Wirbelbogen (Arcus vertebrae) und verschiedenen Gelenkfortsätzen. Der Axis ist ungefähr doppelt so lang wie der Atlas.

Der Wirbelkörper bildet an der kranialen Gelenkfläche einen recht großen Knochenfortsatz (Dens) aus. Der Dens ist halbkreisförmig und bildet dorsal eine konvexe Rinne. Er liegt der ventralen Innenfläche des Atlas in der Fovea dentis auf. Die Facies articulares craniales umgeben den Dens wie ein Kragen und reichen bis dorsolateral. Mit diesen Facies articulares steht der Axis mit den kaudalen Gelenkflächen des Atlas in Verbindung. Die Form des Dens ermöglicht dem Tier, auf Höhe der Articulatio atlantoaxialis Drehbewegungen des Kopfes um die Längsachse der Wirbelsäule.

In der Medianen der Dorsalfläche erhebt sich der leicht dorsokonvexe Processus spinosus. Dieser zieht von der Extremitas cranialis bis zum Anfang des kaudalen

Drittels der Dorsalfläche, wo er sich in zwei kurze, abgerundete Fortsätze aufspaltet. Auch der Wirbelbogen läuft kaudal in zwei das Wirbelende überragende, ohrenförmige Fortsätze aus. Diese sind jedoch deutlich ausgeprägter als die des Dornfortsatzes und laufen kaudal spitz zu. An der Unterseite dieser Fortsätze ist jeweils eine leicht lateral ausgerichtete Gelenkfläche, mit welcher der Axis mit den Processus articulares craniales des dritten Halswirbels gelenkig in Verbindung steht.

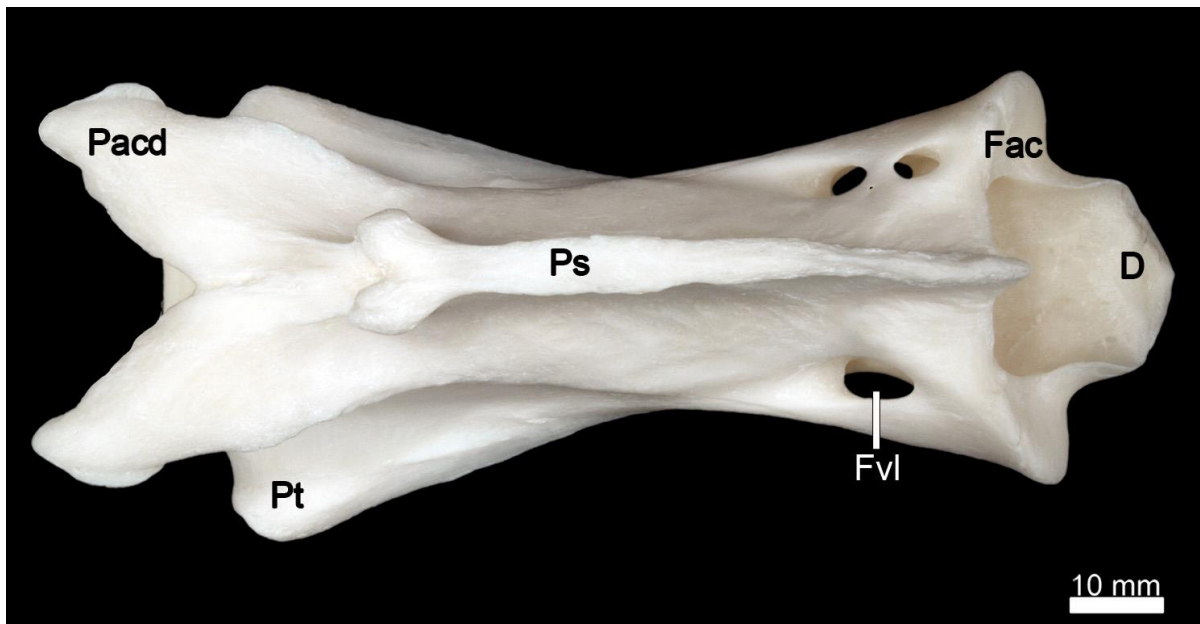


Abb. 3: Axis einer 3,5 Jahre alten Huacaya-Stute (Ansicht von dorsal).

D = Dens axis; Fac = Facies articularis cranialis; Fvl = For. vertebrale laterale; Pacd = Proc. articularis caudalis; Ps = Proc. spinosus; Pt = Proc. transversus

Der Processus transversus entspringt etwas weiter kranial der Mitte des Axis und verbreitert sich nach kaudal. Kurz vor dem Wirbelende bildet er einen abgerundeten Fortsatz. Auf der Ventralseite erhebt sich aus der Mitte des Wirbelkörpers die Crista ventralis, die kaudal in einem die Extremitas caudalis geringgradig überragenden Höcker endet.

Kranial an der ventralen Seite befinden sich zwei weitere Öffnungen. Medioventral des Foramen transversarium befindet sich eine zusätzliche Öffnung, die den Anfang eines Kanals darstellt, der ungefähr zwanzig Millimeter weiter kaudal im Inneren des Wirbelkanals endet, der Canalis transversarius. Zwischen den Procc. articulares caudales und der Extremitas caudalis des Wirbelkörpers zieht sich der Wirbelbogen zur Incisura vertebralis caudalis ein. Eine Incisura vertebralis cranialis ist am Axis nicht ausgebildet.

Dritter bis siebter Halswirbel

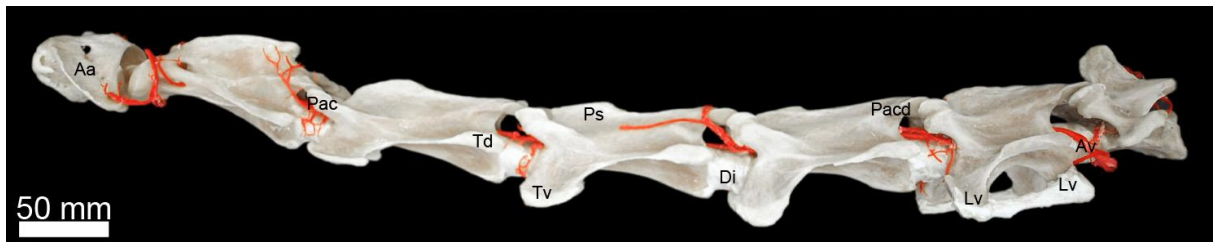


Abb. 4: Halswirbelsäule eines 18 Jahre alten Suri-Hengstes (Lateralansicht von links; Gefäße mit Latexmilch injiziert).

Aa = Ala atlantis; Av = A. vertebralis; Di = Discus intervertebralis; Lv = Lamina ventralis; Pac = Proc. articularis cranialis; Pacd = Proc. articularis caudalis; Ps = Proc. spinosus; Td = Tuberculum dorsale des Querfortsatzes; Tv = Tuberculum ventrale

Die Halswirbel (Abb. 4) sind im Vergleich zu den Wirbeln der restlichen Wirbelsäule deutlich länger. Die Wirbelkörper werden kaudal jedoch immer kürzer und breiter. Der Wirbelkörper bildet ventral eine deutliche Crista ventralis aus, die sich wie beim Axis ungefähr in der Mitte des Körpers aus diesem erhebt und kaudal länger wird und in einem Tuberkulum endet.

Das kraniale Ende des Wirbelkörpers ist gering gewölbt. Die kaudale Endfläche ist im Gegenzug fast eben bzw. nur leicht ausgehöhlt.

Der Dornfortsatz erstreckt sich ab dem dritten Halswirbel über die gesamte Länge des Wirbelbogens. Am dritten Halswirbel ist er etwa in der Mitte des Wirbelkörpers aufgetrieben. An den restlichen Halswirbeln ist das dorsale Ende des Dornfortsatzes von Anfang an breit aufgetrieben.

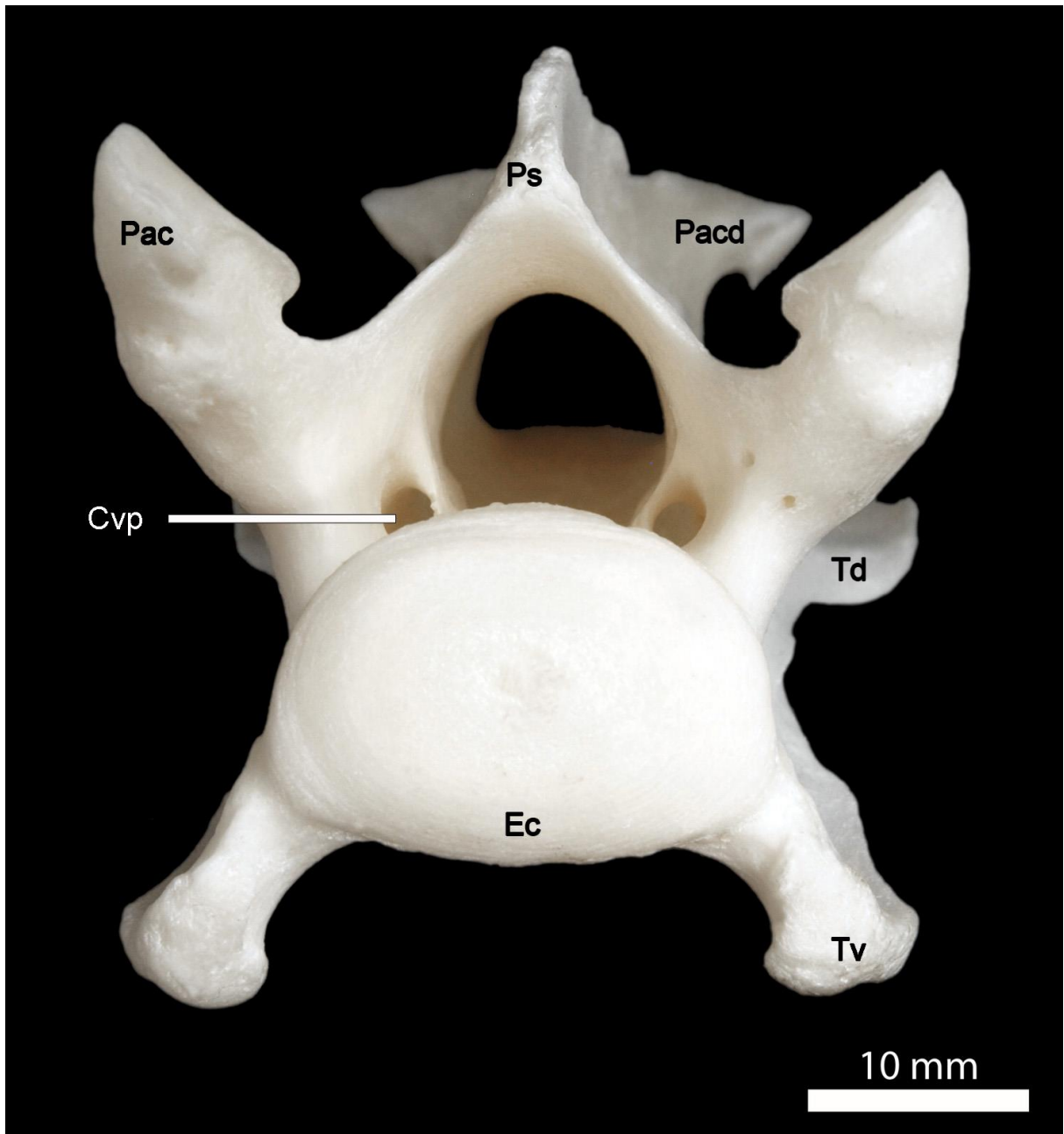


Abb. 5: 3. Halswirbel einer 3,5 Jahre alten Huacaya-Stute (Ansicht von kranial).

Cvp = Canalis pedicularis vertebralis; Ec = Extremitas cranialis; Pac = Proc. articularis cranialis; Pacd = Proc. articularis caudalis; Ps = Proc. spinosus; Td = Tuberculum dorsale vom Querfortsatz; Tv = Tuberculum ventrale vom Querfortsatz

An der Extremitas cranialis bildet der Wirbelbogen zwei Gelenkfortsätze (Processus articulares craniales) die mediodorsal ausgerichtet sind, um mit den kaudalen Gelenkfortsätzen des kranial gelegenen Wirbels zu artikulieren. Mediokaudal der kranialen Gelenkfortsätze sind Gruben ausgebildet, die bei Bewegungen der Halswirbelsäule die kaudalen Gelenkfortsätze des kranial gelegenen Wirbels aufnehmen. Die Aufspaltung der kaudalen Gelenkfortsätze (Processus articulares

caudales) erfolgt bei allen Halswirbeln, mit Ausnahme des letzten Halswirbels wie am Axis. Das Ende ist schwanzwärts immer stärker abgerundet.

Die lateral am Wirbelkörper gelegenen Querfortsätze sind wellenförmig. Sie erstrecken sich von kranioventral in einem Bogen kaudodorsal. Der kranioventrale Anteil ist stark verbreitert und bildet eine Platte (Lamina ventralis), die ventrolateral ausgerichtet ist. Sie reicht bis kurz vor die Mitte des Wirbelkörpers. Der dorsale Anteil des Proc. transversus hingegen bleibt bis zum kaudalen Ende eher flach.

Ab dem 3. Halswirbel zieht kranial im Inneren des Wirbelkanals eine Knochenspange vom Wirbelbogen an den Boden des Wirbelkanals. Sie reicht nicht ganz bis zur Mitte des Wirbelkörpers und ersetzt vermutlich die beim Alpaka nicht vorhandenen Forr. transversaria. Durch den von dieser Knochenspange gebildeten Canalis pedicularis vertebralis (Abb. 5; Abb. 6) zieht die A. vertebralis, jedoch nicht die V. vertebralis. Am 6. Halswirbel ist die Lamina ventralis auch in der kaudalen Hälfte des Wirbels vorhanden. Sie zieht ebenfalls ventrolateral, ist jedoch weiter medial angelegt als der kraniale Anteil der Lamina ventralis. Die Crista ist nur sehr reduziert entwickelt und am 7. Halswirbel nicht mehr zu erkennen. Am sechsten Halswirbel endet der Proc. transversus auf Höhe der Extremitas caudalis.

Die Incisurae craniales und caudales sind wenig tief und verändern sich im Laufe der Halswirbelsäule nicht bedeutend in ihrem Ausmaß. Die Foramina intervertebralia sind recht geräumig, jedoch nicht so breit wie z.B. an der Brustwirbelsäule.

Der 7. Halswirbel unterscheidet sich am stärksten von den restlichen Halswirbeln. Er ist deutlich kürzer und kompakter. Sein Dornfortsatz zieht nicht über die gesamte Länge der Dorsalfläche, sondern ist nur in der kranialen Hälfte ausgebildet. Ab der Mitte des Wirbelbogens verliert er dann abrupt an Höhe und verläuft sich im Wirbelbogen. Die Inzisur zwischen den beiden Gelenkfortsätzen ist nicht spitz zulaufend, sondern stark abgerundet. Der Querfortsatz ist außerdem kürzer und kompakter, besteht jedoch ebenso aus einem kranialen Tuberculum ventrale und einem kaudalen Tuberculum dorsale. Als einziger der Halswirbel besitzt der 7. Halswirbel an der Extremitas caudalis beidseits am lateralen Rand jeweils eine Gelenkgrube (Fovea costalis caudalis), die zusammen mit der Fovea costalis cranialis des ersten Brustwirbels die Gelenkpfanne für den Rippenkopf der ersten Rippe bildet. Der Canalis pedicularis vertebralis, der ab dem 3. Halswirbel ausgebildet ist, hat am 7. Halswirbel seine kraniale Öffnung nicht im Inneren des Wirbelkanals, sondern außen am Wirbelkörper ventral des Querfortsatzes. Der

Wirbelkanal ist auf Höhe des siebten Halswirbel breiter geworden als am Anfang der Halswirbelsäule.

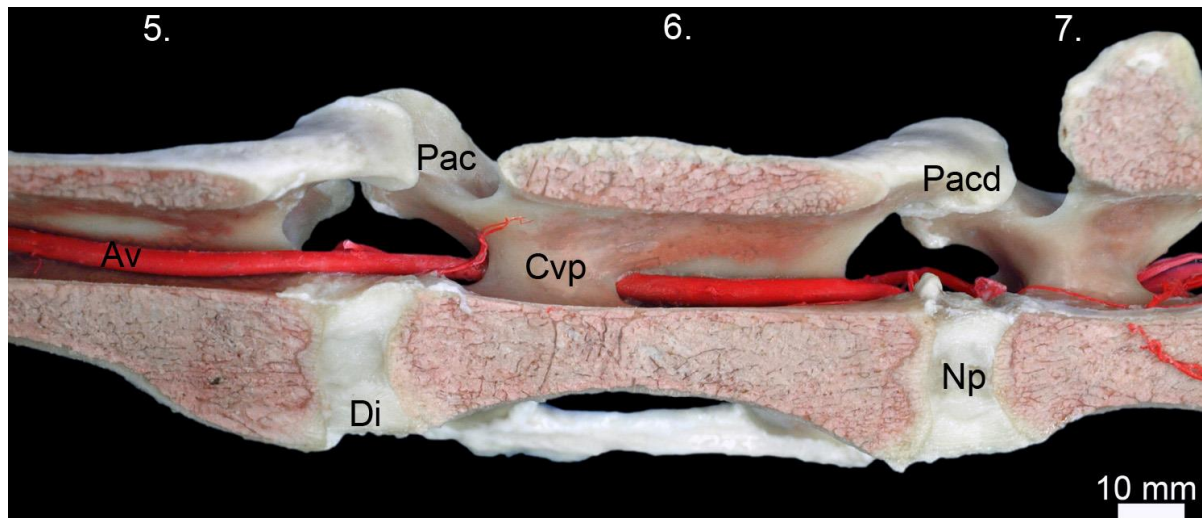


Abb. 6: Längsschnitt der Wirbelsäule auf Höhe des 5.-7. Halswirbels eines 18 Jahre alten Suri-Hengstes mit Blick in den Wirbelkanal (Lateralansicht von links).

5./6./7. = 5.-7. Halswirbel; Av = A. vertebralis; Cvp = Canalis pedicularis vertebralis; Di = Discus intervertebralis; Np = Nucleus pulposus; Pac = Proc. articularis cranialis; Pacd = Proc. articularis caudalis

4.1.2 Brustwirbel (*Vertebrae thoracicae*)

Der Brustteil der Wirbelsäule (Abb. 7) besteht beim Alpaka aus zwölf Wirbeln. Die Brustwirbelsäule ist nach dorsal leicht konvex gebogen und weist nur eine geringe Beweglichkeit auf. Die Brustwirbel dienen dem Ansatz der Hals-, Rücken- und Beckengürtelmuskulatur. Außerdem artikulieren sie beidseits mit den Rippenknochen und bilden die dorsale knöcherne Begrenzung der Brusthöhle.

Die Brustwirbel besitzen alle einen recht ähnlichen Aufbau:

- einen kurzen Wirbelkörper
- einen langen Dornfortsatz, der jedoch deutlich kürzer ist als bei den Haussäugetieren
- kranial und kaudal an den Wirbelkörpern Gelenkflächen zur Artikulation mit den Rippenköpfen und an den Querfortsätzen Gelenkflächen zur Artikulation mit den Rippenhöckern

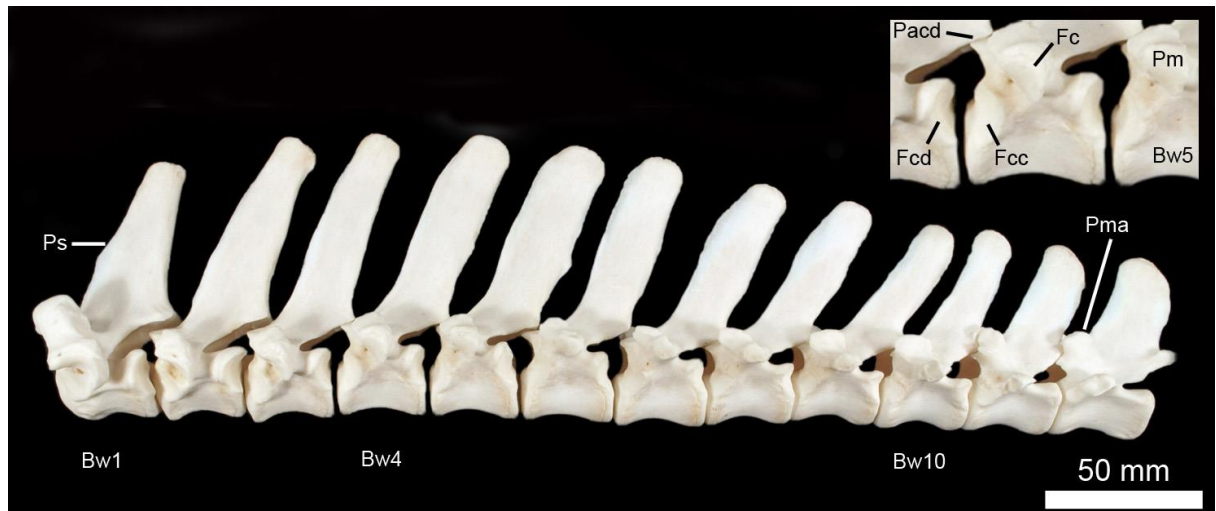


Abb. 7: Brustwirbelsäule einer 3,5 Jahre alten Huacaya-Stute (Ansicht von links).
 Bw 1/4/5/6/10 = 1./4./5./6./10. Brustwirbel; Fc = Fovea costalis processus transversi;
 Fcc = Fovea costalis cranialis; Fcd = Fovea costalis caudalis; Pacd = Proc. articularis
 caudalis; Pm = Proc. mamillaris; Pma = Proc. mamilloarticularis; Ps = Proc. spinosus

Der Körper der Brustwirbel ist vor allem in der mittleren Brustwirbelsäule kürzer als an den Lendenwirbeln. Die kraniale Endfläche ist konvex, flacht aber nach kaudal hin ab. Die kaudale Endfläche ist geringgradig konkav und flacht in kaudaler Richtung ebenfalls schon sehr früh ab.

Das markanteste Merkmal der Brustwirbel sind ihre langen Dornfortsätze. Bis zum dritten oder vierten Brustwirbel nehmen sie an Länge zu, um dann wieder kürzer und breiter zu werden. Dorsal sind die Dornfortsätze mehr oder weniger zu einer Tuberositas processus spinosi aufgetrieben, welcher eine Knorpelkappe aufsitzt. Die Procc. spinosi sind beim Alpaka kaudodorsal gerichtet. Die Neigung nimmt in kaudaler Richtung ab und der Dornfortsatz des letzten Brustwirbels ist nahezu senkrecht gestellt.

Am Wirbelkörper sind an der Extremitas cranialis und caudalis am Übergang zum Wirbelbogen beidseits Gelenkgruben ausgebildet. Die Fovea costalis caudalis eines Brustwirbels bildet zusammen mit der Fovea costalis cranialis des folgenden Brustwirbels und der Zwischenwirbelscheibe die Gelenkgrube, in der der Rippenkopf, Caput costae, zu liegen kommt. Während die Foveae costales am kranialen Ende der Brustwirbelsäule noch tief ausgehöhlt sind, nimmt die Konkavität nach kaudal zunehmend ab. Am letzten Brustwirbel fehlt die Fovea costalis caudalis.

Zusätzlich ist ventral am Querfortsatz eine weitere Gelenkgrube (Fovea costalis processus transversi) für die gelenkige Verbindung mit dem Rippenhöcker, Tuberculum costae, entwickelt. Die beiden Gelenkflächen für den Rippenkopf und

den Rippenhöcker nähern sich immer weiter an, bis sie am zwölften Brustwirbel schließlich komplett miteinander verschmolzen sind. Als Folge davon sind die kaudalen Rippen beweglicher, was für die Atmung von großer Bedeutung ist.

Kranial an der Basis des Dornfortsatzes ist auf beiden Seiten dem Querfortsatz benachbart ein Zitzenfortsatz (*Processus mamillaris*) entwickelt. Dieser nähert sich an den Brustwirbeln von kranial nach kaudal dem *Processus articularis cranialis* langsam an bis die beiden schließlich ab dem 11. Brustwirbel zum *Processus mamilloarticularis* verschmolzen sind.

Kaudal ebenfalls an der Basis des Dornfortsatzes sind beidseits die beiden *Procc. articulares caudales* ausgebildet, die nach ventral gerichtet sind und mit den *Procc. articulares craniales* des kaudal folgenden Brustwirbels die kleinen Wirbelgelenke bilden. Am ersten Brustwirbel zeigen diese Gelenkflächen medioventral. Im Laufe der Wirbelsäule drehen sie sich langsam nach lateral. Ab dem 10. Brustwirbel sind die beiden Gelenkflächen dann komplett nach lateral ausgerichtet.

Kaudal zwischen dem Dornfortsatz und dem Wirbelkörper ist die *Incisura vertebralis caudalis* zu einer Rinne verlängert, die medial des Querfortsatzes ventral zieht. An den kaudal folgenden Brustwirbeln wird diese Rinne seichter und ist ab dem 4. Brustwirbel nicht mehr vorhanden. Übrig bleibt nur mehr eine tiefe eingeschnittene *Incisura vertebralis caudalis* am Wirbelbogen. Im Gegensatz dazu ist die kraniale *Inzisur* nur sehr wenig eingeschnitten.

Aufgrund der Tatsache, dass die Brustwirbel den kaudal von ihnen liegenden Wirbeln mit ihren *Facies articulares caudales* aufliegen, sind an der Brustwirbelsäule keine *Spatia interarcualia* vorhanden. Ab der Brustwirbelsäule sind dorsal im Wirbelkörper jedes Wirbels zwei kleine Öffnungen für den Durchtritt von Gefäßen sichtbar (*Foramina nutritia*).

4.1.3 Lendenwirbel (Vertebrae lumbales)

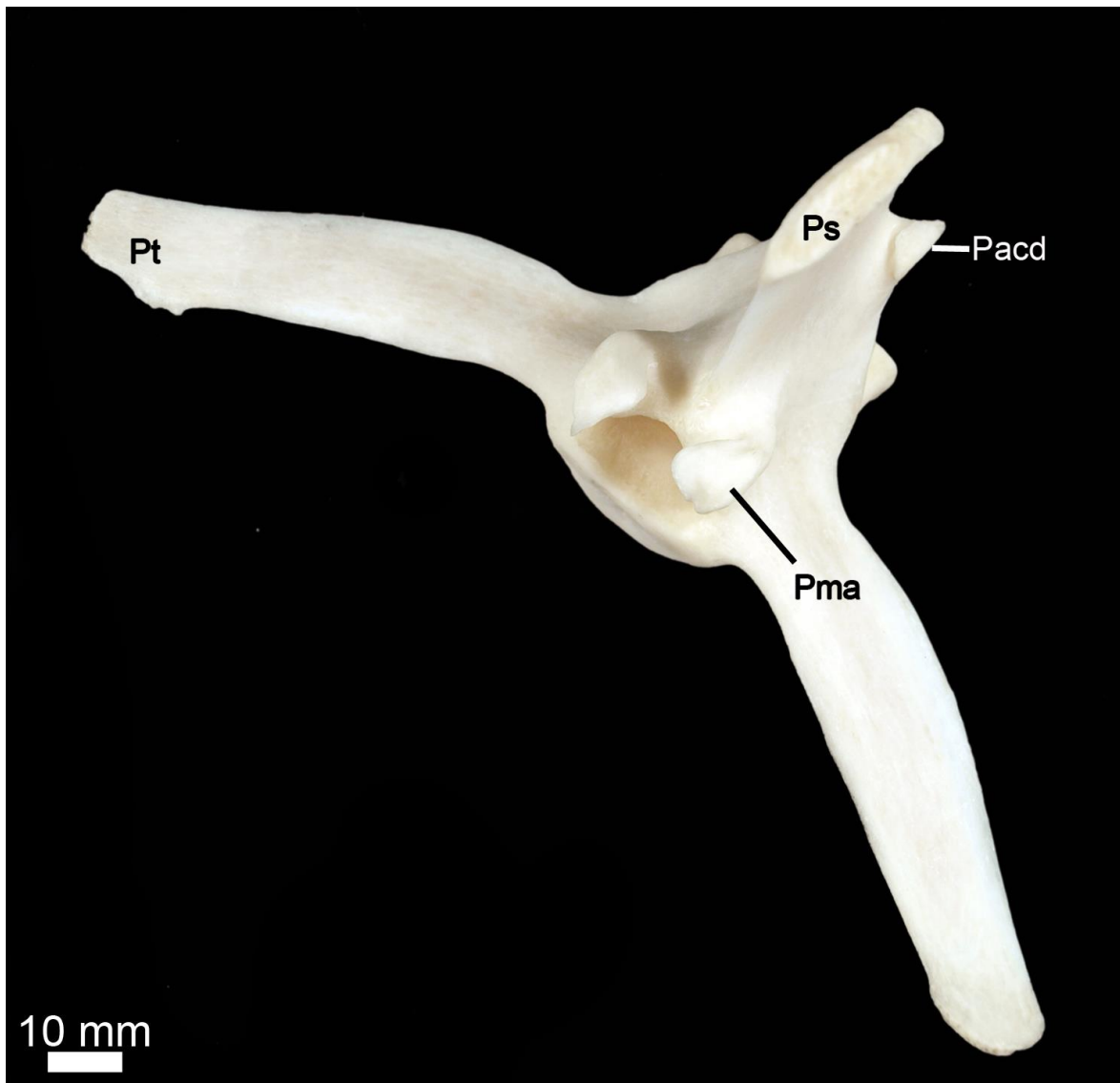


Abb. 8: 3. Lendenwirbel einer 3,5 Jahre alten Huacaya-Stute (Ansicht von kraniodorsal). Pacd= Proc. articularis caudalis; Pma = Proc. mamilloarticularis; Ps = Proc. spinosus; Pt = Proc. transversus

Die Lendenwirbelsäule besteht aus 7 Lendenwirbeln (Abb. 8). Die Wirbelkörper sind kürzer als die Körper der Halswirbel, jedoch länger als die der Brustwirbel. Von ihrem Aufbau her kommen die Lendenwirbel dem Aufbau eines typischen Wirbels sehr nahe. Der Wirbelkörper besitzt eine Extremitas cranialis und eine Extremitas caudalis, die jeweils mit der kranial bzw. kaudal gelegenen Zwischenwirbelscheibe in Verbindung steht. Die kraniale Endfläche ist nur wenig konvex und die kaudale entsprechend wenig konkav. Jedoch zeigt sich die Konvexität und Konkavität vor allem an den kaudalen Lendenwirbeln, während die Endflächen der kranialen Wirbel fast eben sind. Der Wirbelkanal ist im Vergleich zu der Brustwirbelsäule erweitert,

weil das Rückenmark sich auf dieser Höhe zur Lendenschwellung, *Intumescencia lumbalis*, verdickt. Außerdem sind die typischen Fortsätze wie Dorn-, Quer- und Gelenkfortsätze ausgebildet.

Die Dornfortsätze sind kürzer als an den Brustwirbeln, stehen senkrecht und sind an ihrem dorsalen Ende verdickt. Ventral am Wirbelkörper in der Medianen befindet sich eine Knochenleiste (*Crista ventralis*), die in Richtung der Schwanzspitze immer mehr an Höhe verliert. Die Quer- und Dornfortsätze sowie die *Crista ventralis* dienen der Bauch-, Stammes- und Becken- sowie der inneren Lendenmuskulatur als Ursprungs- und Ansatzpunkt.

Das auffälligste Merkmal der Lendenwirbel sind die stark ausgeprägten Querfortsätze (*Processus costales*), bei denen es sich um Rippenrudimente handelt. Sie ziehen in einem Bogen kranial und sind geringgradig ventral ausgerichtet. Die Länge der Querfortsätze ist bei allen Lendenwirbeln fast gleich, mit Ausnahme des ersten und letzten Lendenwirbel, an denen sie deutlich kürzer sind. Die Querfortsätze des vierten Lendenwirbels sind am längsten, die des letzten Lendenwirbels am kürzesten.

Am kranialen Ende befinden sich Gelenkfortsätze, deren Gelenkflächen medial gerichtet sind und die kaudalen Gelenkflächen des davor gelegenen Wirbels umgreifen. Man unterscheidet die *Processus articulares craniales* und die Zitzenfortsätze, die an den Lendenwirbel bereits zu den *Processus mamilloarticulares* verschmolzen sind. Der Anteil des Zitzenfortsatzes wird durch eine Beule repräsentiert. Diese Bauweise schränkt seitliche Bewegungen der Lendenwirbelsäule ein und verleiht ihr eine hohe Festigkeit. Am kaudalen Ende des Wirbelkörpers sind Gelenkfortsätze vorhanden, die mit den *Proc. mamilloarticulares* des nächsten Wirbels in Verbindung stehen.

Die kraniale *Incisura vertebralis* schneidet nicht so tief in den Wirbelbogen ein wie die *Incisura vertebralis caudalis*. Aufgrund der Tatsache, dass der *Proc. mamilloarticularis* immer weiter kranial wandert und die *Extremitas cranialis* somit immer deutlicher überragt, bildet sich in der *Incisura vertebralis cranialis* eine Rinne, die vom Wirbelkanal lateroventral führt.

Am Boden des Wirbelkanals befinden sich an den Lendenwirbeln sowie bereits an den Brustwirbeln *Foramina nutritia* für den Durchtritt von Versorgungsgefäßen des Wirbelkörpers.

Die Spatia interarcualia zwischen den einzelnen Lendenwirbel sind mit Ausnahme des Spatium interarcuale lumbosacrale zwischen dem letzten Lendenwirbel und dem ersten Kreuzwirbel sehr eng.

4.1.4 Kreuzwirbel (Vertebrae sacrales)

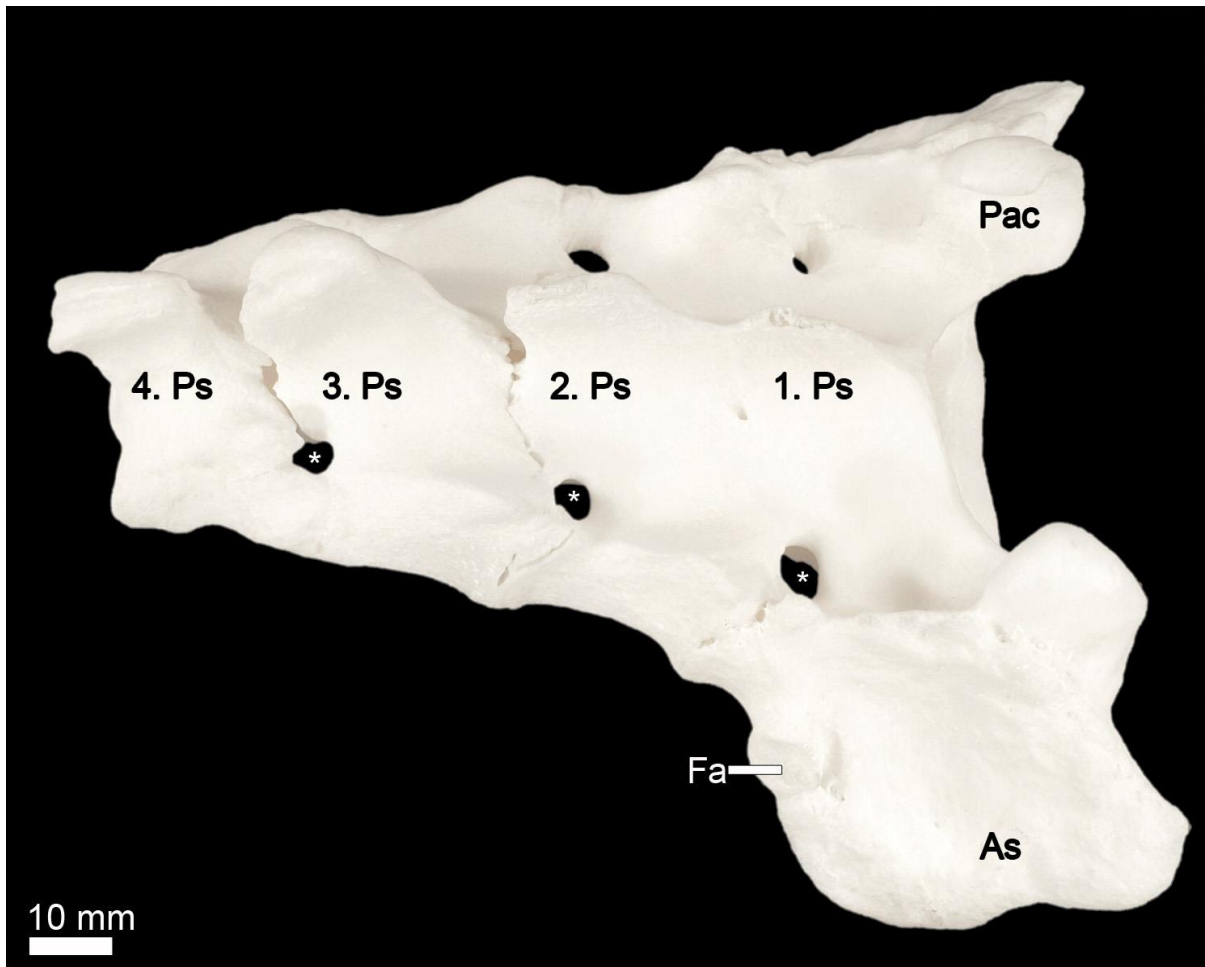


Abb. 9: Kreuzbein einer 3,5 alten Huacaya-Stute (Dorsolaterale Ansicht von rechts).
1.-4. Ps = Proc. spinosus des 1.-4. Kreuzwirbels; As = Ala sacralis; Fa = Facies auricularis;
Pac = Proc. articularis cranialis; * = Forr. sacralia dorsalia

Das Kreuzbein, Os sacrum (Abb. 9) ist aus der Verschmelzung der vier Kreuzwirbel und der Verknöcherung der Zwischenwirbelscheiben entstanden. Dadurch ist die Beweglichkeit der Kreuzwirbelsäule beim erwachsenen Tier vollständig verloren gegangen.

Jedoch gibt es einen Unterschied im Grad der Verwachsung der Kreuzwirbel miteinander. Zwischen den beiden ersten Wirbeln geben nämlich nur zwei winzige Öffnungen beidseits kaudal des ersten Dornfortsatzes, sowie feine Risse an der Pars lateralis Hinweise auf den verknöcherten Zwischenwirbelspalt der beiden Wirbel. Zwischen dem zweiten und dritten Kreuzwirbel hingegen ist ein sehr feiner, jedoch

deutlicher Spalt zu erkennen. Den dritten und vierten Kreuzwirbel trennt schlussendlich ein noch deutlicherer Spalt.

Das Kreuzbein besteht beim Alpaka aus vier Seiten. Die Basis ist kranial an beiden Seiten zu den Kreuzbeinflügeln (*Alae sacrales*) verbreitert. Kranial an der Dorsalfläche (*Facies dorsalis*) sind zwei Gelenkfortsätze ausgebildet. Diese beiden Knochenfortsätze sind wie die *Procc. articulares craniales* der Lendenwirbel senkrecht gestellt und umgreifen die kaudalen Gelenkfortsätze des letzten Lendenwirbels. Die kraniale Endfläche liegt der letzten Zwischenwirbelscheibe der Lendenwirbelsäule an und ist leicht konkav. Die Basis verjüngt sich kaudal zunehmend und bildet am kaudalen Ende die Kreuzbeinspitze (*Apex ossis sacri*). Am Ende der Kreuzbeinspitze liegt die *Extremitas caudalis*, die fast eben ist. Diese steht mit der ersten Zwischenwirbelscheibe der Schwanzwirbelsäule in Kontakt. Der letzte Kreuzwirbel ist leicht ventral abgekippt.

Auf der Dorsalfläche sind vier nach kaudal geneigte Dornfortsätze ausgebildet, die jedoch im Vergleich zu den Lendenwirbeln stark an Höhe verloren haben. Die zwei ersten Dornfortsätze sind im Vergleich zu den zwei kaudalen kürzer. Außerdem sind die beiden Fortsätze an ihrer Basis miteinander verschmolzen. Die beiden kaudalen Dornfortsätze hingegen sind eigenständig und werden zu ihrem dorsalen Ende hin breiter. Daraus ergeben sich ein kranialer und ein kaudaler Zwischenbogenraum, *Spatium interarcuale*.

Auf der *Facies dorsalis* sind lateral der Dornfortsätze zusätzlich auf beiden Seiten die kleinen *Foramina sacralia dorsalia* erkennbar. Insgesamt sind jederseits drei Foramina vorhanden, die jeweils auf der Höhe der Verwachungszone von zwei Kreuzwirbeln gelegen sind. Auch die *Facies pelvina* weist sechs Öffnungen (*Foramina sacralia ventralia*) auf. Die *Foramina sacralia* dienen den Dorsal- und Ventralästen der Sakralnerven als Austrittsöffnung aus der Wirbelsäule.

Die Seitenfläche (*Pars lateralis*) entsteht aus den verschmolzenen Querfortsätzen der Kreuzwirbel. Die rudimentären *Procc. articulares* bilden lateral eine wellenförmige Leiste, die jeweils kranial an jedem Kreuzwirbel ihren höchsten Punkt hat, welcher durch den Gelenkfortsatz gebildet wird. Die *Procc. transversi* des ersten Kreuzwirbels sind lateral zu den Kreuzbeinflügeln ausgezogen. Die *Alae sacrales* sind beim Alpaka geringgradig kaudodorsal ausgerichtet. Lateral an den Kreuzbeinflügeln befindet sich eine raue Fläche (*Facies auricularis*) zur Artikulation mit der Medialfläche der Darmbeinflügel.

Die ventrale Fläche (Facies pelvina) ist ebener als die Dorsalfläche. Die Extremitas cranialis springt an der Facies pelvina leicht nach kranial vor und bildet auf diese Weise das Promontorium. Die Verknöcherungszonen der einzelnen Kreuzwirbel miteinander sind als feine Querlinien (Lineae transversae) erkennbar: insgesamt sind drei Querlinien vorhanden von denen die kaudale einen deutlichen Riss bildet. Die Incisura cranialis des ersten Kreuzwirbels und die Incisura caudalis des letzten Kreuzwirbels sind nur schwach ausgeprägt.

Die Wirbelbögen der Kreuzwirbel überdecken die Wirbelkörper sehr flach und bilden so den Wirbelkanal (Canalis sacralis), der wesentlich enger ist als in der restlichen Wirbelsäule und dessen Durchmesser kaudal stark abnimmt.

4.1.5 Schwanzwirbel (Vertebrae caudales)

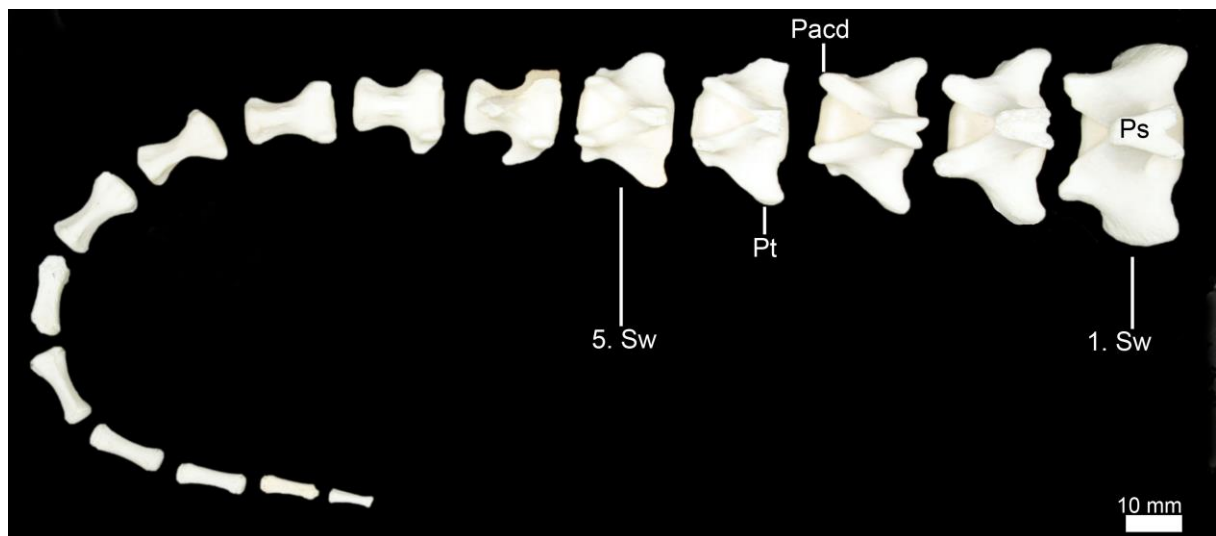


Abb. 10: Schwanzwirbelsäule einer 3,5 Jahre alten Huacaya-Stute (Dorsale Ansicht).
Pacd = Proc. articularis caudalis; Ps = Proc. spinosus; Pt = Proc. transversus; 1. und 5. Sw = 1. und 5. Schwanzwirbel

Die Schwanzwirbelsäule (Abb. 10) setzt sich aus 14-16 kleinen Wirbeln zusammen, die zur Schwanzspitze hin immer kleiner werden und ihre Grundstruktur allmählich verlieren. Die Schwanzwirbel sind locker über recht breite Zwischenwirbelscheiben miteinander verbunden, so dass die Wirbelsäule in diesem Bereich eine große Beweglichkeit aufweist. Bei einem älteren Hengst, war der 1. Schwanzwirbel mit dem letzten Kreuzwirbel verwachsen. Die Extremitas cranialis ist konvex und die Extremitas caudalis in der Mitte leicht konkav, ansonsten flach. Die ersten Wirbel besitzen noch einen Proc. spinosus, an welchem sich jedoch bereits ab dem ersten Schwanzwirbel in der Medianen eine Linie erkennen lässt, in welcher sich der Dornfortsatz der weiter kaudal gelegenen Wirbel aufspaltet. Ab dem 6.

Schwanzwirbel ist der Wirbelbogen nicht mehr auf seiner gesamten Länge vorhanden, sondern öffnet sich ab dem 7. Schwanzwirbel komplett: der Wirbelkanal ist somit aufgelöst. Weiter kaudal ist der Dornfortsatz nur noch als kleine Knochenleiste ausgebildet, welche nach und nach kleiner wird.

Querfortsätze sind an der Schwanzwirbelsäule ebenfalls vorhanden. Diese liegen kaudoverstral der Procc. articulares craniales, in die sie in einem Bogen übergehen. Die Querfortsätze werden schwanzspitzenwärts immer kleiner und verlagern sich immer weiter kranial, bis sie schließlich ab dem zehnten Schwanzwirbel verschwunden sind. Ab dem 5. Schwanzwirbel erkennt man bereits nur noch eine Leiste, die an der Extremitas cranialis beginnt und schließlich ausläuft. Ab dem 10. Schwanzwirbel ist die Grundstruktur der Wirbel weitgehend verloren. Es bleibt eine sanduhrförmige Grundstruktur mit rudimentären Gelenkfortsätzen. An der ventralen Seite der Schwanzwirbel ist eine rudimentäre Crista ausgebildet, die es bis zur Schwanzspitze ermöglicht die dorsale und ventrale Seite der Wirbel zu unterscheiden.

Die Schwanzwirbel dienen den langen und kurzen Schwanzmuskeln als Ansatzpunkt.

4.2 Verbindungen der Knochen der Wirbelsäule

4.2.1 Kopfgelenke

Erstes Kopfgelenk (Articulatio atlantooccipitalis)

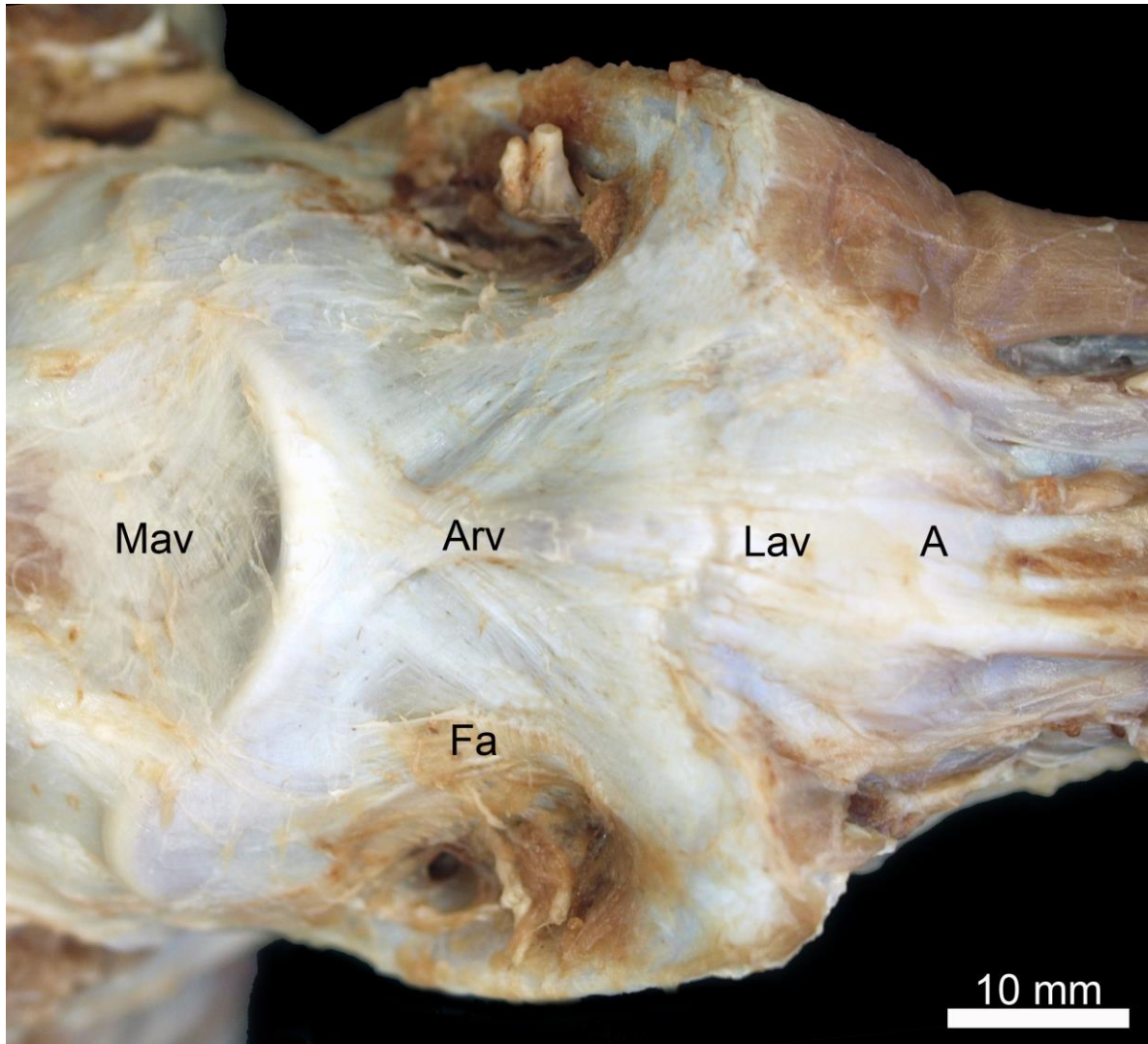


Abb. 11 Art. atlantooccipitalis und Art. atlantoaxialis eines 6,5 Monate alten Huacaya-Cria (Ansicht von ventral).

A = Axis; Arv = Arcus ventralis des Atlas; Fa = Fossa atlantis; Lav = Lig. atlantoaxiale ventrale; Mav = Membrana atlantooccipitalis ventralis.

Beim ersten Kopfgelenk (Abb. 11) handelt es sich um ein einfaches Gelenk, welches sich aus zwei Ellipsoidgelenken zusammensetzt. Die Gelenkknorren des Os occipitale artikulieren mit den Foveae articulares craniales des Atlas. Das erste Kopfgelenk lässt vornehmlich Streck- und Beugebewegungen zu und in einem geringen Maße auch Dreh- und Seitwärtsbewegungen.

Das erste Kopfgelenk wird durch verschiedene Gelenkbänder (Ligamenta articularia*) ergänzt. Dorsal bzw. ventral wird der weite Gelenkspalt (Spatium atlantooccipitale) flächig durch Bindegewebe überbrückt. Die Membrana atlantooccipitalis dorsalis bzw. ventralis liegen der Gelenkkapsel auf und schützen das Rückenmark vor Verletzungen.

Zusätzlich ziehen noch Seitenbänder (Ligamenta lateralia) (Abb. 12) von der ventralen Seite der kranialen Spitze der Atlasflügel an die Innenseite der Procc. paracondylares des Hinterhauptbeines.

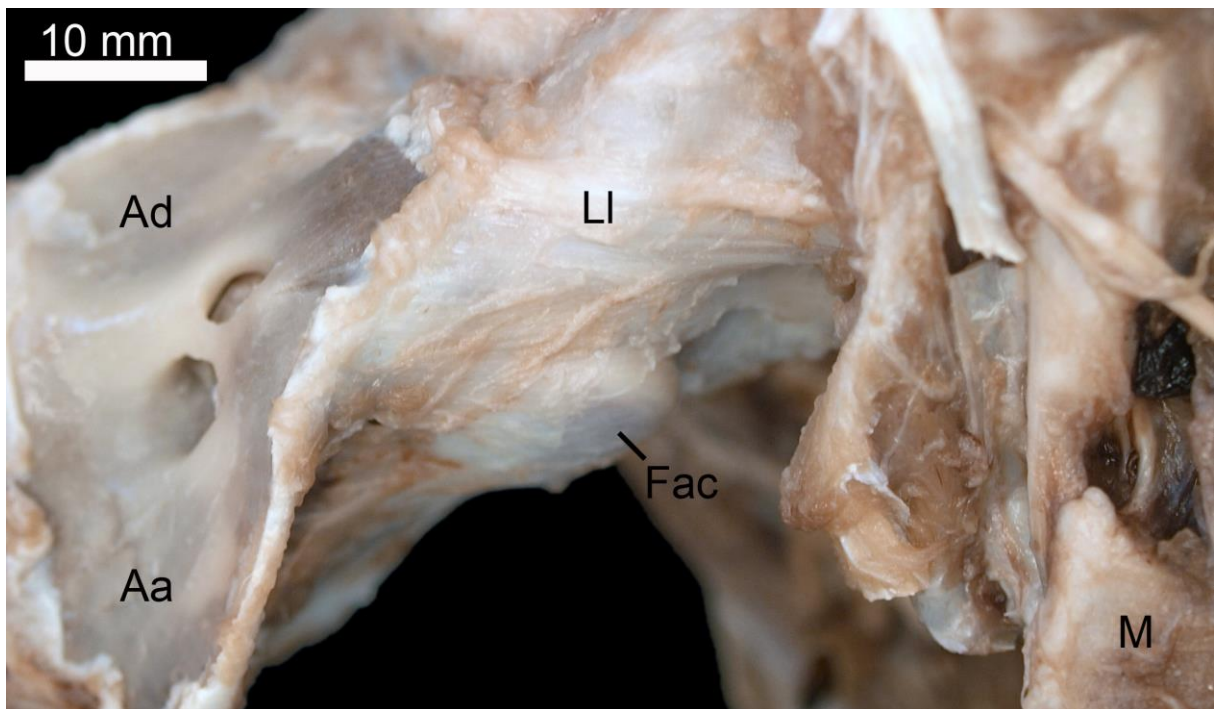


Abb. 12 Art. atlantooccipitalis eines 6,5 Monate alten Huacaya-Cria (Lateralansicht von rechts).

Aa = Ala atlantis; Ad = Arcus dorsalis des Atlas; Fac = Facies articularis cranialis; M = Mandibula; LI = Ligg. lateralia

Zweites Kopfgelenk (Articulatio atlantoaxialis)

Das zweite Kopfgelenk (Abb. 11; Abb. 13) ist ebenfalls ein einfaches Gelenk zwischen dem Dens des Axis, der dem Atlas in der Fovea dentis aufliegt. Zusätzlich artikulieren die Facies articulares craniales, die den Dens kragenartig umgeben mit den Foveae articulares caudales des Atlas. Aufgrund der besonderen Form des Dens kann dieses Gelenk als Zapfengelenk bezeichnet werden. Es ermöglicht hauptsächlich Rotationsbewegungen um die Längsachse des Dens.

* Nicht in der (NAV, 2017) gelistet.

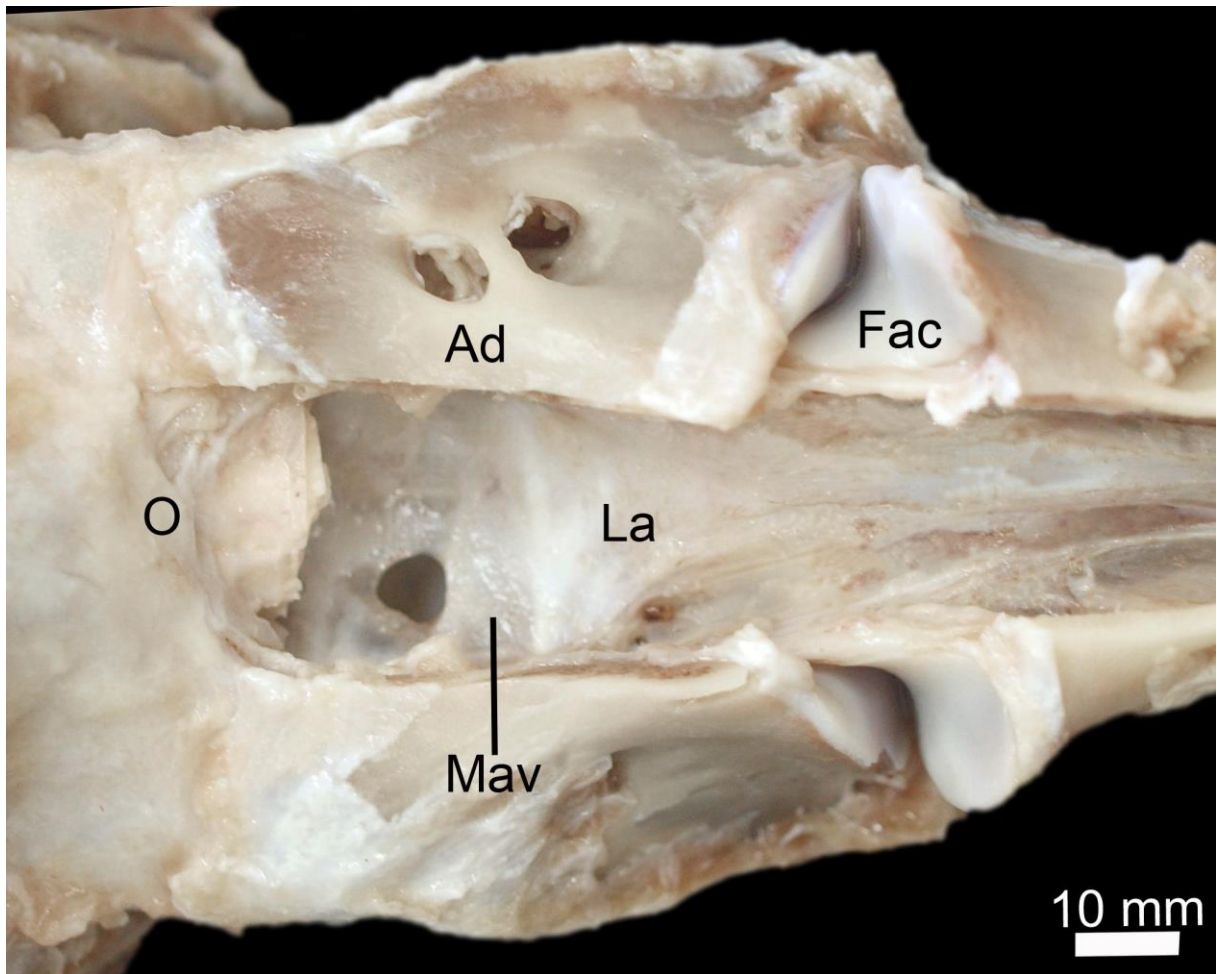


Abb. 13: Art. atlantoaxialis eines 6,5 Monate alten Huacaya-Cria (Ansicht von dorsal, medianer Anteil des Arcus dorsalis vom Atlas wurde entfernt).

Ad = Arcus dorsalis des Atlas; Fac = Facies articularis cranialis des Axis; La = Lig. alaria; Mav = Membrana atlantooccipitalis ventralis; O = Os occipitale

Das **Ligamentum atlantoaxiale dorsale** verbindet die beiden Dornfortsätze des Atlas und Axis.

Im Inneren des Wirbelkanals verläuft das zarte **Ligamentum longitudinale dentis** zwischen der Dorsalfläche des Dens und dem Os occipitale. Es zieht unter der Bandplatte durch, welche den ventralen Atlasbogen mit dem Dens verbindet.

Die sich nach kranial hin auffächernden **Ligamenta alaria** (Abb. 13) ziehen von der dorsalen Densseite an die Innenseite des ventralen Atlasbogen.

Das **Ligamentum atlantoaxiale ventrale** (Abb. 11) verbindet das Tuberculum ventrale des Atlas mit der Crista ventralis des Axis.

Ein **Ligamentum transversum atlantis** ist nicht vorhanden.

4.2.2 Verbindungen der Wirbel miteinander

Die einzelnen Wirbelkörper sind durch Zwischenwirbelfugen (Symphyses) verbunden. Zwischen die Extremitas caudalis eines Wirbelkörpers und die Extremitas cranialis des folgenden Wirbelkörpers ist eine Zwischenwirbelscheibe, Discus intervertebralis, eingefügt. Diese setzt sich aus einem Gallertkern (Nucleus pulposus) und einem faserknorpeligen Faserring, Anulus fibrosus, zusammen. Der Anulus fibrosus ist lamellenartig aufgebaut. Die mittlere Dicke der Zwischenwirbelscheibe ist abhängig von der Lage innerhalb der Wirbelsäule. In der Halswirbelsäule sind die Zwischenwirbelscheiben sehr massiv mit einer Dicke von 6-8 mm. Der Nucleus pulposus im Halsbereich ist queroval mit Abmessungen von ungefähr 10 x 5 mm. Zwischen den kranialen Brustwirbeln sind die Disci intervertebrales nur ungefähr 3 mm breit, nehmen kaudal jedoch wieder an Dicke zu, um in der kaudalen Brust- und kranialen Lendenwirbelsäule eine Breite von 4-8 mm zu erreichen. In der kaudalen Lendenwirbelsäule werden sie dann wiederum dünner mit ca. 3-5 mm.

Die Wirbelbögen stehen durch richtige Gelenke miteinander in Verbindung, Articulationes processuum articularium. Die kranialen Gelenkfortsätze eines Wirbels artikulieren mit den kaudalen Gelenkflächen des vorhergehenden Wirbelbogens. Es handelt sich dabei um einfache, ebene Gelenke. Diese Gelenkfortsätze sind in den verschiedenen Bereichen der Wirbelsäule unterschiedlich ausgebildet. An der Halswirbelsäule besitzen die Wirbel mit Ausnahme des Atlas, auf beiden Seiten jeweils einen Proc. articularis caudalis dessen Gelenkfläche ventrolateral ausgerichtet ist. Dieser Gelenkfortsatz steht mit dem Proc. articularis cranialis des folgenden Wirbels in Verbindung.

Im Bereich der Brustwirbelsäule befinden sich die kaudalen Gelenkflächen am ventralen Ende des Dornfortsatzes. Die Brustwirbel liegen einander so auf, dass von dorsal betrachtet in diesem Bereich keine Spatia interarcualia existieren.

Die Besonderheit der Gelenke zwischen den Lendenwirbeln ist, dass die kranialen Gelenkfortsätze senkrecht stehen und medial zeigen. Als Gegenspieler dazu zeigt die Gelenkfläche der kaudalen Fortsätze des kranial gelegenen Wirbels lateral d.h. die Lendenwirbel umschließen mit ihren kranialen Gelenkfortsätzen jeweils die Procc. articulares des vorderen Lendenwirbels. Diese anatomische Besonderheit verleiht der Lendenwirbelsäule ihre Stabilität.

Aufgrund der Verwachsung der vier Kreuzwirbel und ihrer verschiedenen Fortsätze einschließlich der Basis der Dornfortsätze zum einheitlichen Kreuzbein sind in diesem Bereich keine beweglichen Gelenke ausgebildet.

Die Schwanzwirbel besitzen, selbst im kranialen Abschnitt, keine funktionellen Gelenkfortsätze, da diese keinen Kontakt haben. Die vorhandenen Fortsätze dienen der Schwanzmuskulatur als Ursprung und Ansatz. Die Schwanzwirbel sind gelenkig somit ausschließlich über die Zwischenwirbelscheiben zwischen den Wirbelkörpern verbunden.

Bänder der Wirbelsäule

Zusätzlich zu den Gelenken sind die einzelnen Wirbel noch mittels verschiedener Gelenkbänder verbunden. Dabei lassen sich die kurzen Bänder zwischen zwei benachbarten Wirbeln von den langen Bändern über mehrere Wirbel hinweg unterscheiden.

Zu den kurzen Bändern gehören die

- Zwischenbogenbänder, Ligamenta flava
- Zwischendornenbänder, Ligamenta interspinalia
- Zwischenquerbänder, Ligamenta intertransversaria

Die **Ligg. flava** überbrücken dorsal den Zwischenbogenspalt und schützen somit das Rückenmark an jenen Stellen an denen der Wirbelkanal nicht knöchern überdacht ist.

Die **Ligg. interspinalia** verbinden die Procc. spinosi zweier Wirbel. Sie bestehen beim Alpaka vor allem im kranialen Brustbereich zum Großteil aus elastischen Fasern. Sie ziehen vom ventrokranialen Rand eines Dornfortsatzes schräg dorsal an den benachbarten Dornfortsatz, wo sie am kaudalen Rand ansetzen. Sie füllen den Raum zwischen den Dornfortsätzen komplett aus. Im Halsbereich sind ebenfalls Ligg. interspinalia ausgebildet, jedoch sind diese aufgrund der niedrigen Dornfortsätze nur sehr schwach ausgebildet. Die gelbliche Farbe der Bänder im kranialen Bereich der Brustwirbelsäule lässt darauf schließen, dass die Bänder zu einem Großteil aus elastischen Fasern bestehen. Im Verlauf der Wirbelsäule nimmt die gelbliche Färbung immer weiter ab, was auf eine Abnahme der elastischen Fasern hinweist.

Die **Ligamenta intertransversaria** (Abb. 14) sind nur zwischen den ausgeprägten Querfortsätzen der Lendenwirbel ausgebildet. Die Fasern der Querbänder ziehen in verschiedene Richtungen. Es gibt welche, die im Bogen von kaudolateral kranio-medial an den nächsten Wirbel ziehen. Andere Fasern haben einen fast parallelen Verlauf zur Wirbelsäule und wiederum andere entspringen lateral an den Querfortsätzen und ziehen kaudomedial an den folgenden Wirbel. In das Zwischenquerband ziehen auch Fasern vom kranialen Wirbel, die oberhalb des Ursprungs des Querfortsatzes am Wirbelbogen entspringen. An die Querfortsätze des letzten Lendenwirbels ziehen keine Bänder, wodurch dieser beweglicher als die restliche Lendenwirbelsäule ist.

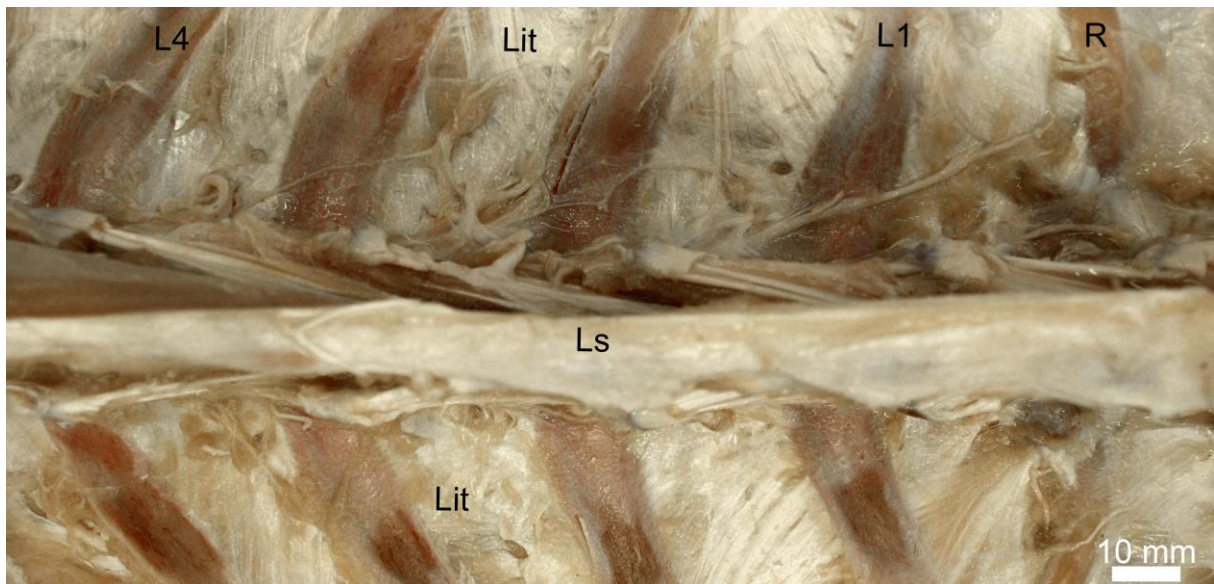


Abb. 14: Ligg. intertransversaria im Bereich der Lendenwirbelsäule einer 5 Jahre alten Huacaya-Stute (Ansicht von dorsal).

L1 und L4 = Querfortsatz des 1. und 4. Lendenwirbels; Lit = Ligg. intertransversaria; Ls = Lig. supraspinale; R = 12. Rippe

Gelenkkapseln

Die Gelenkfortsätze der Halswirbel werden von einer derben Gelenkkapsel umhüllt, die ungefähr 1 bis 2 mm dick ist. Sie entspringt lateral an den kranialen Gelenkfortsätzen. An den kaudalen Halswirbeln ist lateral am Gelenkfortsatz eine Stufe erkennbar, an welcher die Kapsel entspringt. Sie zieht zum kaudalen Ende der Facies articularis und bis in die kleinen Gruben medial der Gelenkfläche, die mit Ausnahme der Stelle, an welcher der Proc. articularis in den Wirbelbogen übergeht, komplett von der Kapsel eingehüllt wird. Am Proc. articularis caudalis zieht die Gelenkkapsel dorsal bis an die aus dem Dornfortsatz hervorgehende Leiste und setzt rings um die Gelenkfläche an.

Zu den langen Bändern zählen

- das Nackenband (Ligamentum nuchae), welches sich zusammensetzt aus
 - dem Nackenstrang (Funiculus nuchae)
 - der Nackenplatte (Lamina nuchae)
- das Rückenband (Ligamentum supraspinale)
- das dorsale Längsband (Ligamentum longitudinale dorsale)
- das ventrale Längsband (Ligamentum longitudinale ventrale)

Das **Nackenband (Ligamentum nuchae)** (Abb. 15) ist beim Alpaka über die gesamte Länge paarig angelegt und entspringt beidseits der Medianen am Hinterhauptsstachel (Protuberantia occipitalis externa). An seinem Ursprung ist das Lig. nuchae sehr flach. Auf Höhe des 2. Kopfgelenkes wird der Durchmesser rund und das Nackenband zieht in Form von zwei runden Strängen (Funiculi nuchae) kaudal. Die beiden Stränge nähern sich immer weiter an und gehen ungefähr auf Höhe des 7. Halswirbels wieder jeweils in ein flaches Band über. Der Raum zwischen den beiden Anteilen des Nackenbandes wird durch einestärke Faszie ausgefüllt, die in der Medianen dorsal an den Halswirbeln entspringt. Das Nackenband ist sehr fest mit diesen Faszien verwachsen. Ab dem 2. Halswirbel entspringt an den Dornfortsätzen der Halswirbelsäule die Nackenplatte (Lamina nuchae), die in Form von paarigen breitflächigen Bändern kaudodorsal zieht und von ventral in das Nackenband einstrahlt. Am Übergang von der Halswirbelsäule in die Brustwirbelsäule fächern sich diese Stränge auf. Sie bleiben jedoch über die gesamte Länge des Halses eigenständig.

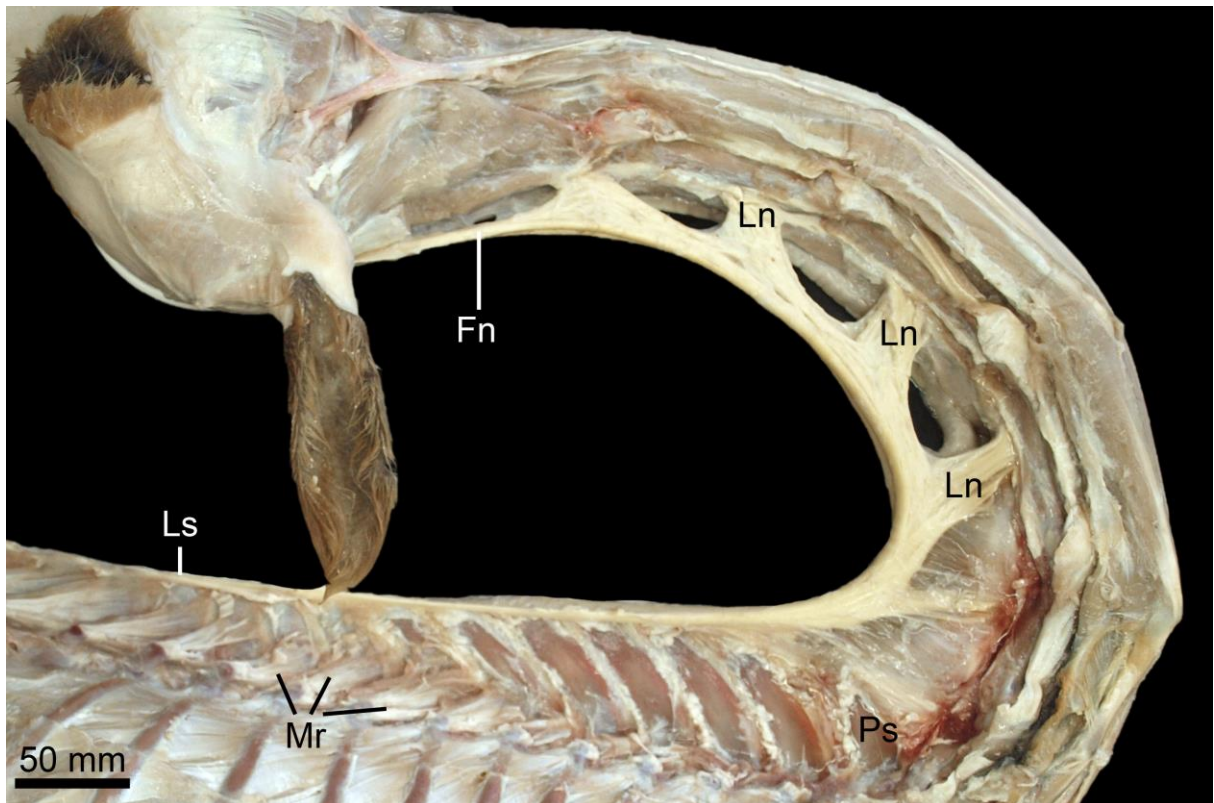


Abb. 15: Bandapparat der Hals- und Brustwirbelsäule eines 18 Jahre alten Suri-Hengstes (Lateralansicht von rechts).

Fn = Funiculus nuchae; Ln = Lamina nuchae; Ls = Lig. supraspinale; Mr = Mm. rotatores; Ps = Proc. spinosus;

In Höhe des 4. bis 5. Brustwirbels sind beide Lig. nuchae verschmolzen und liegen den Spitzen der Dornfortsätze lateral an. Ab hier werden beide als **Lig. supraspinale** (Abb. 15) bezeichnet, welches sich kaudal verjüngt. Das Lig. supraspinale bedeckt die Dornfortsätze nicht komplett, sondern liegt der Spitze der Dornfortsätze lateral an. Das Band endet am 7. Lendenwirbel. Kurz vor seinem Ansatz gabelt es sich in zwei Schenkel auf, die rechts und links am Dornfortsatz ansetzen.

Das **Ligamentum longitudinale dorsale** liegt im Inneren des Wirbelkanals extradural den Wirbelkörpern dorsal auf. Es ist relativ schmal, verläuft in der Medianen des Wirbelkanals und ist jeweils an den Zwischenwirbelscheiben und an der Knochenleiste befestigt. In Höhe der Forr. intervertebralia verbreitert es sich zu beiden Seiten hin. Es entspringt am Dens des Axis und inseriert am Kreuzbein.

Das **Ligamentum longitudinale ventrale** (Abb. 16) liegt den Wirbelkörpern ventral in der Medianen an und ist mit diesen und den Zwischenwirbelscheiben verbunden. Das ventrale Längsband beginnt am 8. Brustwirbel und zieht bis zum Kreuzbein.

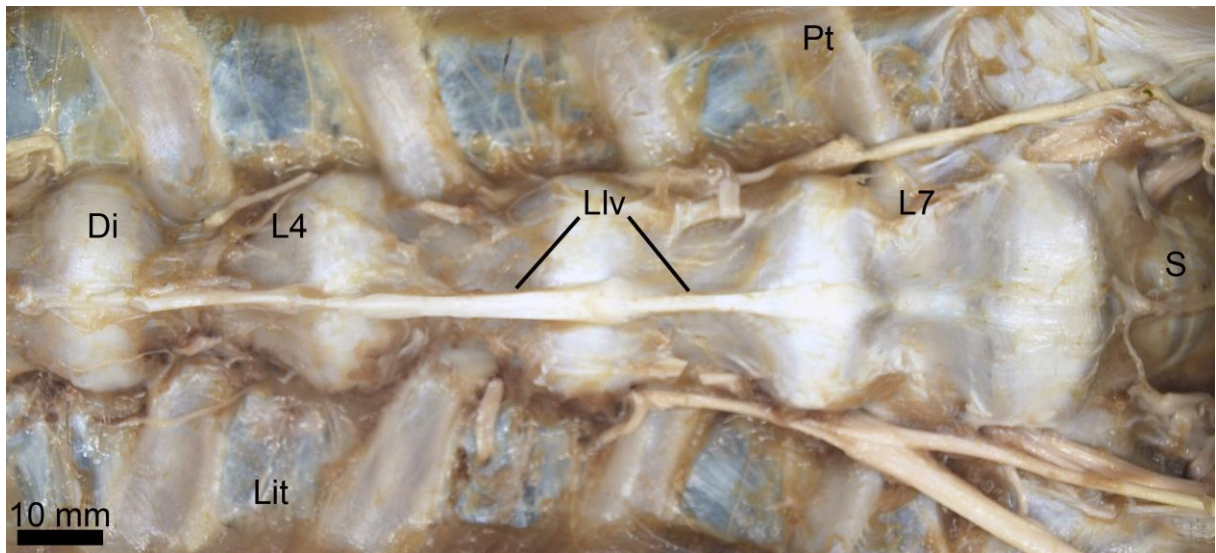


Abb. 16: Lig. longitudinale ventrale eines 6,5 Monate alten Huacaya-Cria (Ansicht von ventral).

Di = Discus intervertebralis; L4/L7 = Corpus vertebrae des 4. bzw. 7. Lendenwirbels; LLv = Lig. longitudinale ventrale; Pt = Proc. transversus des 7. Lendenwirbels; S = Sakrum

Zwischen den kranialen und kaudalen Anteilen der Lamina ventralis des 6. Halswirbels verläuft ein kräftiges Band (Abb. 17). Von diesem ziehen Fasern fächerartig kraniodorsal und bilden eine Art Pforte aus Bindegewebe, welche die darunter liegende Muskulatur bedeckt.

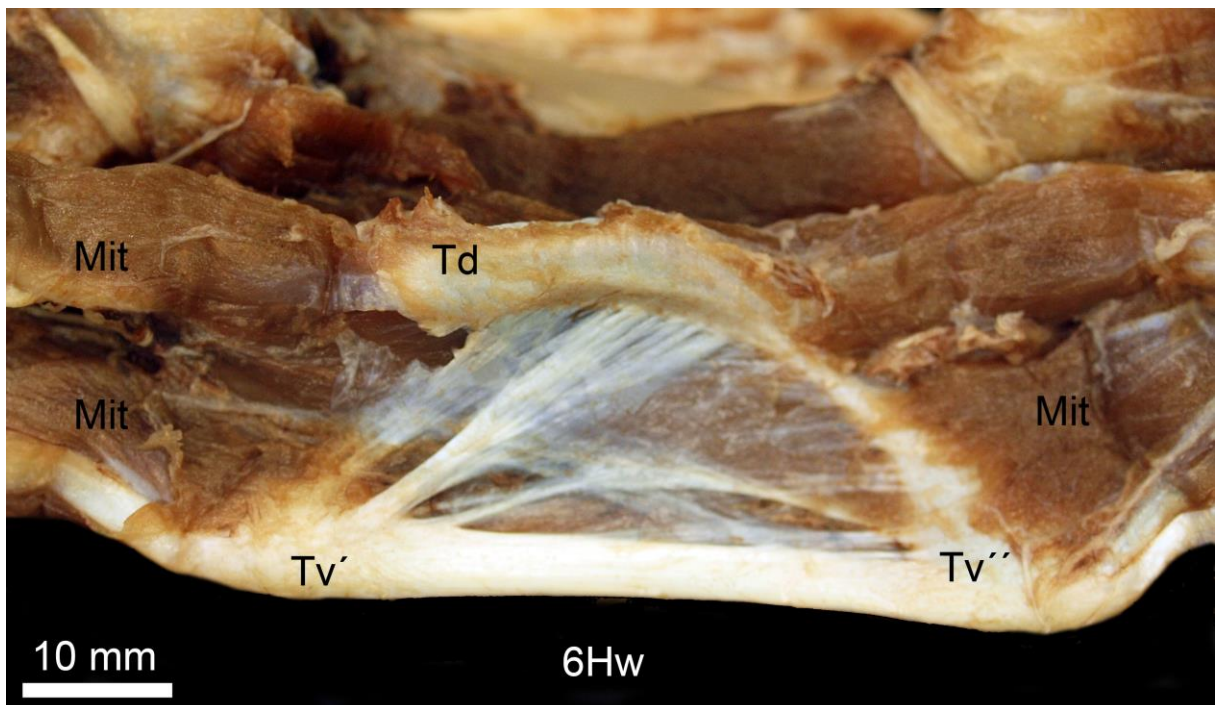


Abb. 17: 6. Halswirbel eines 6,5 Monate alten Huacaya-Cria (Lateralansicht von rechts)

Tv 'und Tv'' = kaudaler und kranialer Anteil der Lamina ventralis; Mit = M. intertransversarius; Td = Tub. dorsale des Querfortsatz

4.3 Faszien und Muskeln des Rücken

4.3.1 Hautmuskeln (Mm. cutanei)

Bei den für diese Studie untersuchten Tieren konnten zwar vereinzelt Muskelfasern in der Haut festgestellt werden, jedoch keine flächigen Hautmuskeln definiert werden.

4.3.2 Besondere Bewegungen des Kopfes

Bei den besonderen Bewegungen (Tabelle 5) des Kopfes handelt es sich um kurze Muskeln, die die ersten beiden Kopfgelenke bewegen und den Atlas, Axis und das Hinterhauptsbein verbinden. Diese Muskeln erlauben dem Alpaka die Extension und Flexion, sowie Seitwärtsbewegungen des Kopfes.

M. rectus capitis dorsalis major (großer gerader Kopfmuskel)

Der M. rectus capitis dorsalis major (Abb. 18) besteht beim Alpaka aus einer oberflächlichen und einer tiefen Portion, die nicht bei jedem Tier deutlich zu unterscheiden sind. Die oberflächliche Portion ist größer und entspringt am kaudalen Ende des Proc. spinosus des Axis. Die kleinere, tiefe Portion entspringt am kranialen Ende des gleichen Dornfortsatzes. Beide setzen an der Squama occipitalis ventral des Nackenbandes an. Die Muskeln beider Seiten verschmelzen und liegen dem M. obliquus cranialis auf.

Der große gerade Kopfmuskel wirkt als Strecker des Atlantoaxialgelenkes und hebt somit den Kopf.

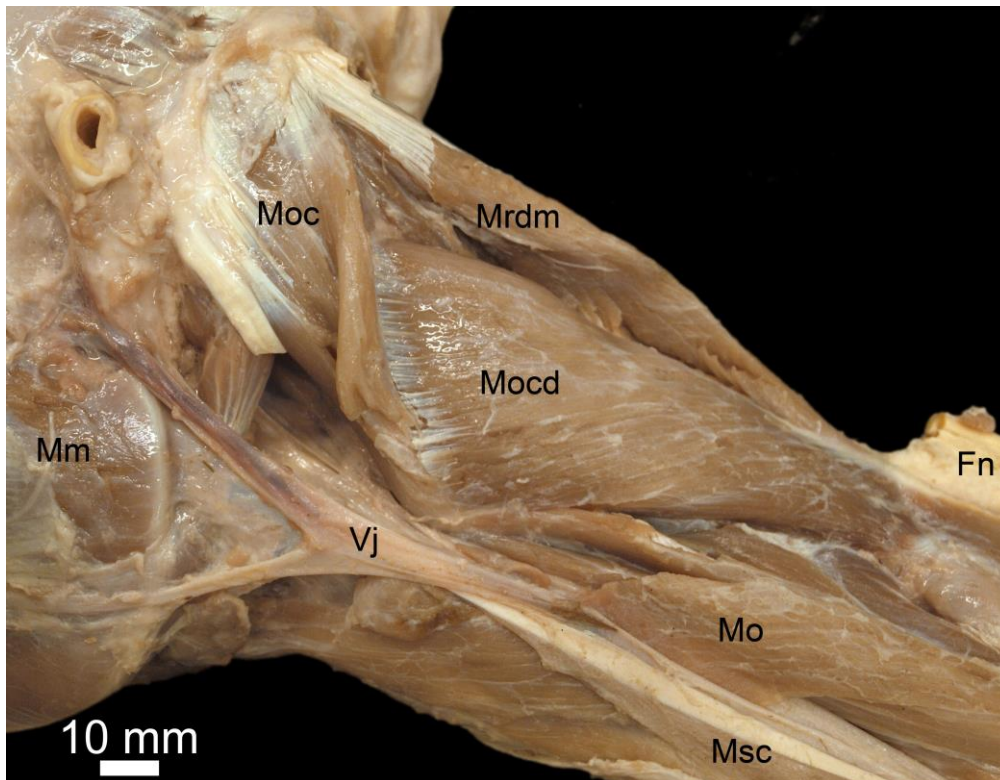


Abb. 18: Kurze Kopfdreher eines 18 Jahre alten Suri-Hengstes (Ansicht von links)

Fn = Funiculus nuchae (abgetrennt); Mm = M. masseter; Mo = M. omohyoideus; Moc = M. obliquus capitis cranialis; Mocd = M. obliquus capitis caudalis; Mrdm = M. rectus dorsalis capitis major; Msc = M. semispinalis capitis; Vj = V. jugularis

M. rectus capitis dorsalis minor (kleiner gerader Kopfmuskel)

Der recht kräftige M. rectus capitis dorsalis minor liegt bedeckt vom großen geraden Kopfmuskel der Membrana atlanto-occipitalis direkt auf, sowie dem M. obliquus capitis cranialis dorsal an. Er entspringt kranial am Arcus dorsalis und zieht ans Hinterhauptbein.

Gemeinsam mit dem großen geraden Kopfmuskel ermöglicht er die Streckung des Atlanto-Occipitalgelenkes und die Hebung des Kopfes.

M. obliquus capitis cranialis (vorderer schiefer Kopfmuskel)

Der M. obliquus capitis cranialis (Abb. 18) ist undeutlich zweigeteilt in eine schmale kraniale und kräftigere kaudale Portion. Beide Anteile sind nur oberflächlich deutlich von einander trennbar und entspringen ventral am Atlasflügel, sowie in der Flügelgrube kranial des M. obliquus capitis caudalis. Sie ziehen ventral über die Membrana atlantooccipitalis ventralis, um kaudal an der Basis des Proc. paracondylaris sowie an der Hinterhauptsschuppe anzusetzen.

Der M. obliquus capitis cranialis wirkt als Strecker des Kopfes, sowie bei einseitiger Kontraktion als Schiefsteller des Kopfes.

M. obliquus capitis caudalis (hinterer schiefer Kopfmuskel)

Der breite M. obliquus capitis caudalis (Abb. 18) entspringt bedeckt vom M. semispinalis capitis fischgräteartig am gesamten Dornfortsatzes des Axis. Er zieht schräg kranioventral über das Atlantoaxialgelenk, um dorsal an den Atlasflügeln bis an deren lateralem Rand anzusetzen.

Bei einseitiger Kontraktion erlaubt der hintere schiefe Kopfmuskel den Kopf seitwärts zu drehen.

M. rectus capitis lateralis (seitlicher gerader Kopfmuskel)

Der seitliche gerade Kopfmuskel ist ein schwacher Muskel, welcher dem M. longissimus cervicis dorsal und lateral anliegt. Er entspringt, bedeckt durch den M. rectus capitis ventralis in der Fossa atlantis. Seinen Ansatz findet der Muskel kaudal am Proc. paracondylaris. Der seitliche gerade Kopfmuskel besteht aus zwei undeutlich getrennten Portionen. Vom vorderen schiefen Kopfmuskel wird er durch den ventralen Ast des 1. Zervikalnerven getrennt.

Er wirkt als Beuger des ersten Halsgelenkes und somit des Kopfes.

M. rectus capitis ventralis (ventraler gerader Kopfmuskel)

Der M. rectus capitis ventralis ist ein kurzer, breiter Muskel, der vom kaudalen Ende des Ventralbogens des Atlas an die Schädelbasis zieht, wo er knapp dorsokaudal des M. longus capitis inseriert. Er liegt dem Ursprung der Membrana atlantoccipitalis direkt auf und bedeckt den M. rectus capitis lateralis an dessen Ursprung.

Der ventrale Kopfmuskel beugt das Atlantookzipitalgelenk und den Kopf.

M. longus capitis (langer Kopfmuskel)

Der M. longus capitis bildet die kraniale Fortsetzung des M. longus colli. Der M. longus capitis flankiert im kranialen Halsbereich lateral den M. longus colli. Er setzt sich beim Alpaka aus drei Portionen zusammen: zwei schmale, oberflächliche und eine breitere, tiefe, kürzere Portion. Die beiden oberflächlichen Anteile entspringen am Tuberculum ventrale des Querfortsatzes des 4. bzw. 3. Halswirbels, wo sie eng mit dem M. intertransversarius ventralis verwachsen sind.

Der tiefe Anteil entspringt ventrolateral am Axis. Zusammen mit den beiden oberflächlichen Anteilen zieht er kranial. Die drei Anteile des M. longus capitis setzen gemeinsam mit dem M. rectus capitis ventralis am Tuberculum musculare des Os occipitale an. Seitlich wird der lange Kopfmuskel vom M. omohyoideus gekreuzt.

Der M. longus colli ist ein Beuger und Seitwärtszieher des kranialen Halses und des Kopfes.

Die Innervation der besonderen Kopfbeweger ist in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Besondere Bewegungen des Kopfes

Name	Funktion	Innervation
M. rectus capitis dorsalis major	Strecken der Art. atlantooccipitalis	R. dorsalis des 1. Halsnerven
M. rectus capitis dorsalis minor	Strecken der Art. atlantooccipitalis	R. dorsalis des 1. Halsnerven
M. obliquus capitis cranialis	Strecken und Seitwärtsbiegen der Art. atlantooccipitalis	R. dorsalis des 1. Halsnerven
M. obliquus capitis caudalis	Drehen der Art. atlantoaxialis	R. dorsalis des 2. Halsnerven
M. rectus capitis lateralis	Beugen der Art. atlantooccipitalis	R. ventralis des 1. Halsnerven
M. rectus capitis ventralis	Beugen der Art. atlantooccipitalis	R. ventralis des 1. Halsnerven
M. longus capitis	Beugen und Seitwärtsbiegen der Art. atlantooccipitalis und kranialen Halses	Rr. ventrales der ersten Halsnerven

4.3.3 Besondere Bewegungen der Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule

4.3.3.1 Lange Hals- und Rückenmuskeln

Oberflächliches System

M. splenius

Ein M. splenius konnte bei den für diese Studie seziierten Alpakas nicht nachgewiesen werden.

Mittleres System

Das laterale System (Tabelle 6) besteht aus dem

- gemeinschaftlichen Rippenmuskel (M. iliocostalis) mit seinen Anteilen:
 - M. iliocostalis lumborum
 - M. iliocostalis thoracis
- langen Rücken-, Hals- und Kopfmuskel (M. longissimus) mit seinen Anteilen
 - M. longissimus lumborum
 - M. longissimus thoracis
 - M. longissimus cervicis
 - M. longissimus atlantis
 - M. longissimus capitis

M. iliocostalis (gemeinschaftlicher Rippenmuskel)

Der gemeinschaftliche Rippenmuskel (Abb. 19) wird abhängig von seiner Lage in zwei Portionen unterteilt: den M. iliocostalis lumborum im Lendenbereich und den M. iliocostalis thoracis im Brustbereich. Ein M. iliocostalis cervicis konnte bei den für diese Studie untersuchten Tiere nicht gefunden werden. Der M. iliocostalis liegt dem M. longissimus thoracis et lumborum lateral an und den Rippen an ihrem wirbelnahen Ende lateral auf. Die Brustportion zieht vom Kranialrand der zehnten bis zwölften Rippe mit einzelnen Muskelbäuchen kranioventral. Der Ursprung befindet sich proximal an der Rippe, fast am Übergang der Rippe auf die Wirbelkörper. Jedes der Faserbündel zieht über 3-5 Interkostalräume und setzt jeweils am Querfortsatz des 7. Halswirbels bzw. am Kaudalrand der ersten 8 Rippen an. Insgesamt sind acht bis neun einzelne Bäuche ausgebildet. Die Sehne des am weitesten kranial gelegenen Muskelbündels ist mit der Sehne des M. longissimus thoracis et lumborum verschmolzen.

Der Lumbalteil des M. iliocostalis ist komplett mit dem M. longissimus verschmolzen und kann nicht von diesem getrennt werden.

Durch seinen Ansatz am kaudalen Rippenrand unterstützt er die Atemmuskulatur während der Expiration. Desweiteren beteiligt er sich bei einseitiger Kontraktion an der Seitwärtsbewegung des jeweiligen Wirbelsäulenabschnittes.

Die Innervation erfolgt segmental durch die Dorsaläste der jeweiligen Thorakal-, Lenden- und Halsnerven.

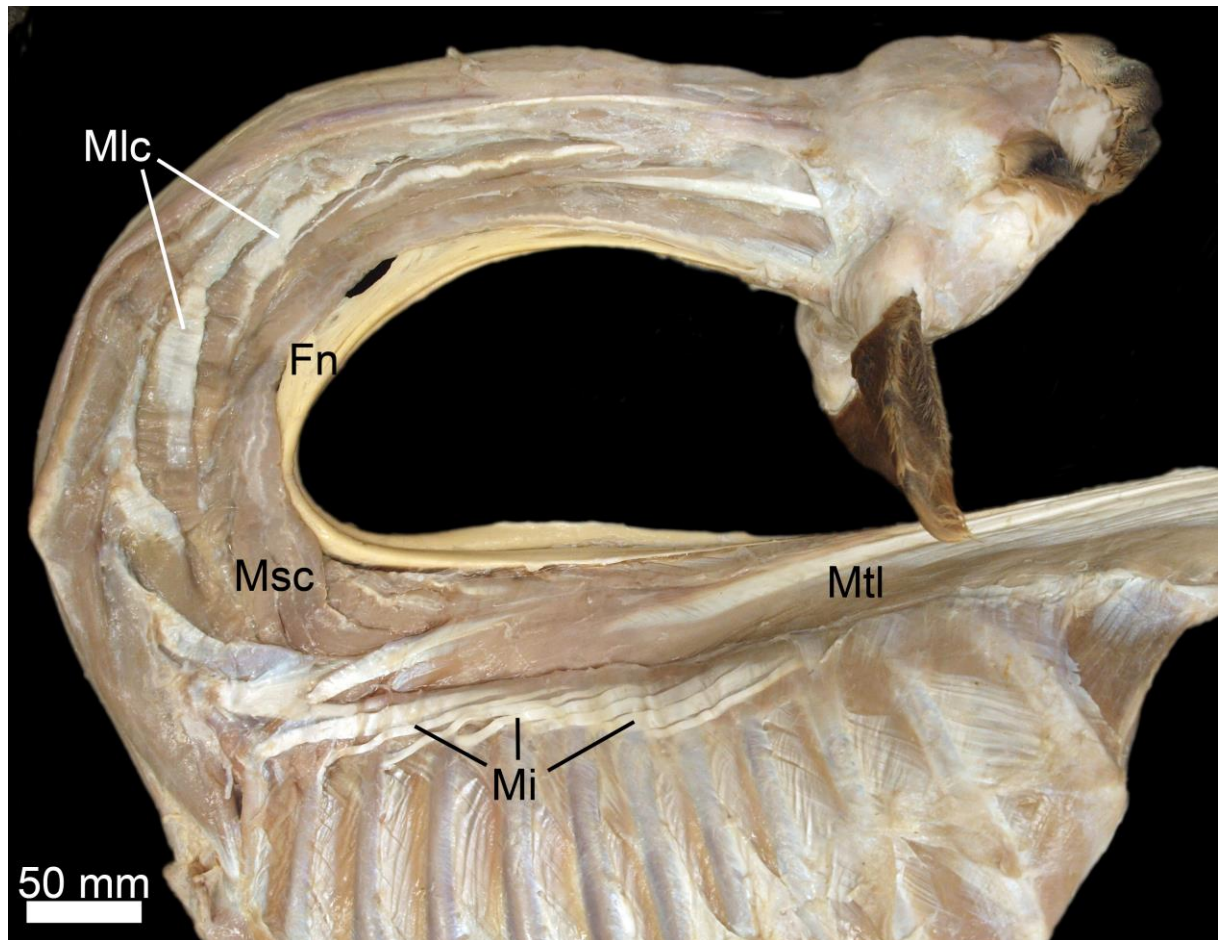


Abb. 19: Laterales System der Hals- und Rückenmuskeln (Ansicht von links)

Fn = Funiculus nuchae; Mi = M. iliocostalis; Mlc = Anteile des M. longissimus cervicis; Mtl = M. longissimus thoracis et lumborum; Msc = M. semispinalis capitis

M. longissimus (langer Rücken-, Hals- und Kopfmuskel)

Der M. longissimus erstreckt sich von den Schwanzwirbeln bis zum Hinterhauptsbein und bildet somit den längsten, funktionell zusammenhängenden Muskel des Alpaka. Je nach Körperregion wird zwischen einem M. longissimus capitis, atlantis, cervicis, thoracis und lumborum unterschieden.

Der M. longissimus ist bei **einseitiger Kontraktion** für die Seitwärtsbewegung der Wirbelsäule, sowie für die Drehung des Kopfes im Atlantoaxialgelenkes verantwortlich. Die **beidseitige Kontraktion** des M. longissimus führt zur Hebung des Halses und Kopfes, sowie zur Stabilisierung der Wirbelsäule im Bereich des Rumpfes.

Der M. longissimus wird regional von den entsprechenden Dorsalästen der Lenden-, Brust- oder Halsnerven innerviert.

Der **M. longissimus lumborum et thoracis** (Abb. 19) ist ein sehr kräftiger Muskel, welcher der Lenden- und Brustwirbelsäule lateral anliegt. Die Muskelbäuche der

beiden Seiten sind sehr eng mit der darüber liegenden F. thoracolumbalis verbunden und nicht ohne Substanzverlust von dieser zu trennen. Der Muskel entspringt aus der eben genannten Faszie, an den Procc. spinosi der Kreuz- und Lendenwirbel, an den kranialen Gelenk- und Mamillarfortsätzen der Lenden- und Brustwirbel, sowie am kranialen Rand der Darmbeinflügel mit einer recht kräftigen Sehnenplatte, welche den Anschein erweckt, dass es sich um mehrere einzelne parallel verlaufende Sehnen handelt. In Wirklichkeit aber liegt eine recht breite Sehnenplatte vor, die aufgrund ihres Ursprungs in einem relativ engen Bereich zusammengefaltet ist. Der M. longissimus thoracis liegt dem M. spinalis et semispinalis thoracis lateral und dem M. iliocostalis dorsalmedial an. Von seinem kaudodorsal und medial gelegenen Ursprung zieht der Muskel kranioventral und lateral. Er inseriert an den Querfortsätzen und Gelenkfortsätzen der Lenden- und Brustwirbel und kaudolateral am proximalen Anteil der Rippen. Der Muskel inseriert mittels dreier Sehnen an den ersten 3 Brustwirbeln und reicht kranial bis an den 7. Halswirbel.

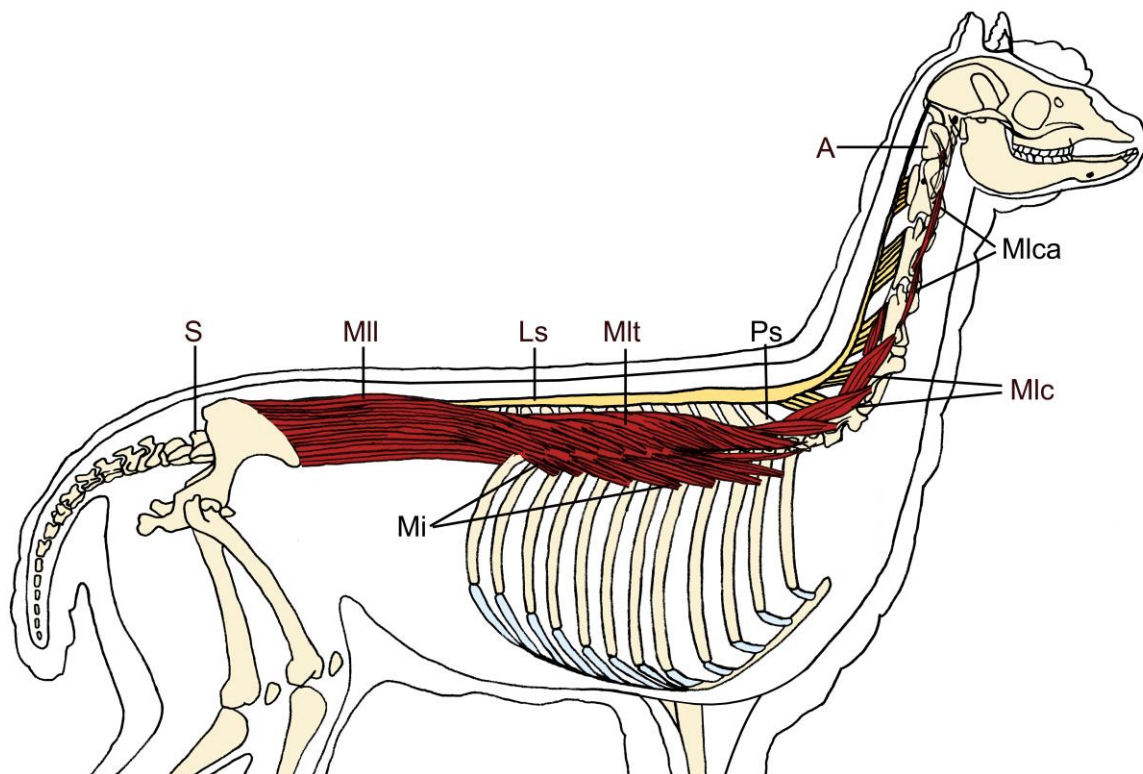


Abb. 20: Zeichnung der lateralen Schicht des mittleren Systems

A = Atlas; Ls = Lig. spinale; Mi = Anteile des M. iliocostalis; Mlc = M. longissimus cervicis; Mlca = M. longissimus capitis et atlantis; Mll = M. longissimus lumborum; Mlt = M. longissimus thoracis; Ps = Proc. spinosus des 1. Brustwirbels; S = Sakrum

Der **M. longissimus cervicis** (Abb. 21) entspringt an den Zitzen- und Gelenkfortsätzen der ersten 4 Brustwirbel, sowie an den kaudalen Gelenkfortsätzen der letzten 3 Halswirbel. Die einzelnen Bündel ziehen kranioventral an die Tubercula dorsalia des 3. bis 7. Halswirbels. Die verschiedenen Muskelbäuche liegen der kranial gelegenen Portion jeweils lateral an und sind untereinander verbunden. In ihrem Verlauf überspringen die verschiedenen Anteile mehrere Wirbelkörper. Der M. longissimus cervicis bedeckt lateral den M. spinalis et semispinalis und liegt dorsomedial des M. longissimus capitis et atlantis.

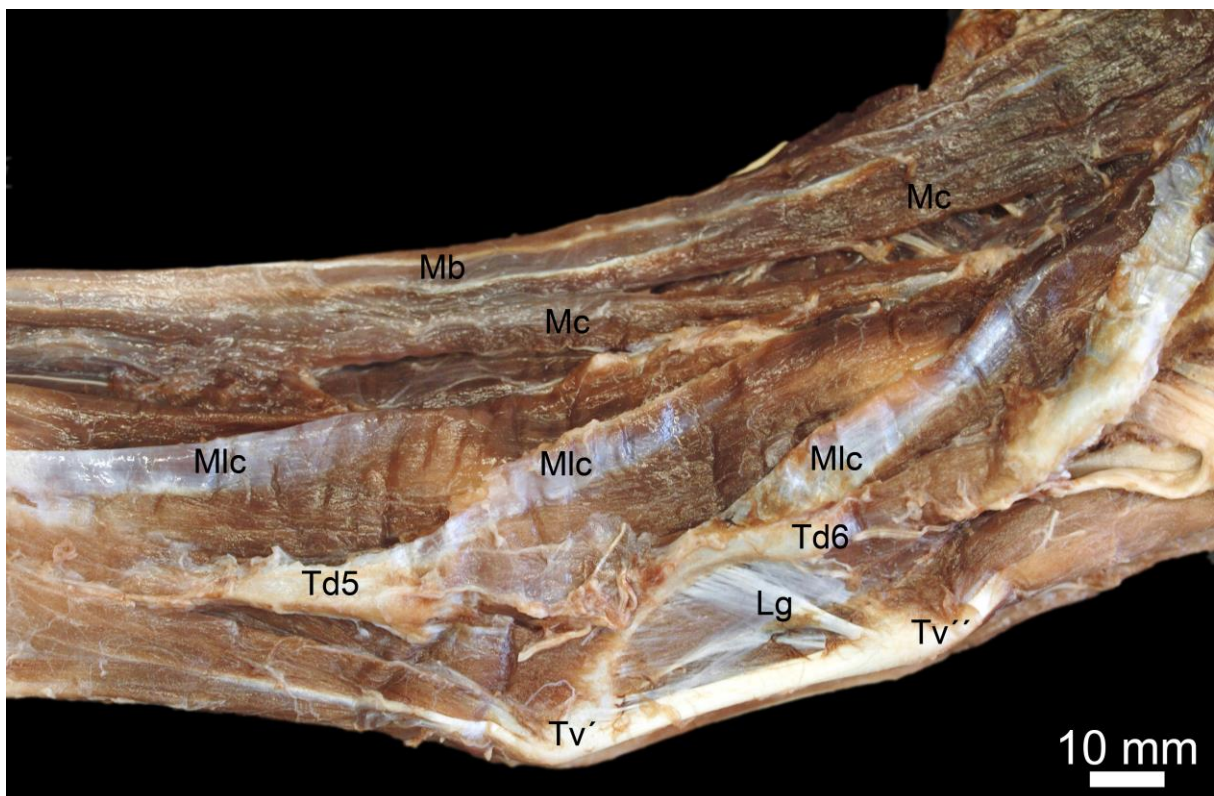


Abb. 21: Halsmuskulatur auf Höhe des 6. Halswirbels eines 6,5 Monate alten Huacaya-Cria (Ansicht von links).

Lg = Bindegewebe zwischen Tub. ventrale und Tub. dorsale des Querfortsatzes; Mb = M. biventer; Mc = M. complexus; Mlc = M. longissimus cervicis, Td5/Td6 = Tuberculum dorsale des Querfortsatzes des 5. bzw. 6. Halswirbels; Tv'/Tv'' = Tuberculum ventrale craniale und caudale des 6. Halswirbels

Der **M. longissimus capitis et atlantis*** (Abb. 20) stellen beim Alpaka zwei deutlich trennbare, ungefähr 10-20 mm breite Muskelbündel dar, die an den kaudalen Gelenkfortsätzen der ersten 4 Halswirbel ihren Ursprung haben. Der M. longissimus capitis liegt lateral dem M. spinalis et semispinalis, sowie dorsal und medial dem M.

* Nicht in der NAV (2017) gelistet.

longissimus atlantis an. Der M. longissimus capitis endet am Proc. mastoideus ventral des Ohrgrundes, während der M. longissimus atlantis kaudoventral am Atlasflügel inseriert. Der M. longissimus atlantis endet kaudoventral an den Atlasflügeln zusammen mit dem ersten Muskelbündel des M. intertransversarius und hat außerdem Verbindungen zu den Mm. multifidi.

Die einseitige Kontraktion des Muskels führt zu einer Seitwärtsbewegung der Wirbelsäule und einer Rotation des Atlantoaxialgelenkes und somit des Kopfes. Die beidseitige Kontraktion dieses Muskels führt zur Streckung der Halswirbelsäule und der Gelenke der zwischen Okziput, Atlas und Axis.

Tabelle 6: Laterales System der langen Hals- und Rückenmuskeln

Name	Funktion	Innervation
M. iliocostalis	Seitwärtsbiegen der Wirbelsäule, Unterstützung der Atemmuskulatur während der Expiration	Dorsaläste der jeweiligen Hals-, Brust- und Lendenwirbel
M. longissimus	Seitwärtsbiegen und Strecken der Wirbelsäule, Heben und Seitwärtsbiegen der Halswirbelsäule und des Kopfes	Dorsaläste der jeweiligen Hals-, Brust- und Lendenwirbel

Tiefe Schicht

Die tiefe Schicht (Tabelle 7) besteht aus dem

- **M. spinalis (Dornmuskel)** mit seinen Anteilen
 - M. spinalis thoracis
 - M. spinalis cervicis
- **Mm. transversospinales** mit ihren Anteilen
 - M. semispinalis thoracis et cervicis
 - M. semispinalis capitis (durchflochtener Muskel)
 - Mm. multifidi (vielästige Muskeln)

Beim Alpaka sind der M. spinalis und der M. semispinalis zu einem gemeinsamen M. spinalis et semispinalis verschmolzen. Dieser wird je nach der Region in einen M. spinalis et semispinalis thoracis, cervicis und capitis eingeteilt.

Bei einseitiger Kontraktion wirkt er als Seitwärtsbieger des Rückens und Halses und unterstützt den M. longissimus. Bei beidseitiger Kontraktion wirkt er als Feststeller und Strecker des Rückens und Heber des Halses.

Die Innervation erfolgt durch die Dorsaläste der Spinalnerven der Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule.

M. semispinalis capitis

Der M. spinalis et semispinalis capitis (Abb. 19) besteht beim Alpaka aus zwei Anteilen: dem M. biventer und dem M. complexus.

Der **M. biventer** (Abb. 21) liegt dorsal des M. complexus und lateral dem Funiculus und der Lamina nuchae an. Mit beiden letztgenannten ist er bindegewebig verbunden. Er entspringt seitlich an den Gelenk- und Zitzenfortsätzen der ersten 4 bis 5 Brustwirbel und endet ventral des Ansatzes des Nackenbandes kaudal am Os occipitale.

Der **M. complexus** (Abb. 21) besteht aus feinen Muskelbündeln, die an den kranialen Procc. articulares der letzten 5 Halswirbel entspringen und von ventral an den M. biventer herantreten. Mit diesem ziehen sie kranial und verwachsen dabei komplett mit diesem. Dadurch verschmelzen beide Muskeln vor ihrem Ansatz am Os occipitale (M. semispinalis capitis) und inserieren einheitlich am Os occipitale lateral der Mm. multifidi. Mit letzteren tauschen die Anteile des M. semispinalis capitis Fasern aus.

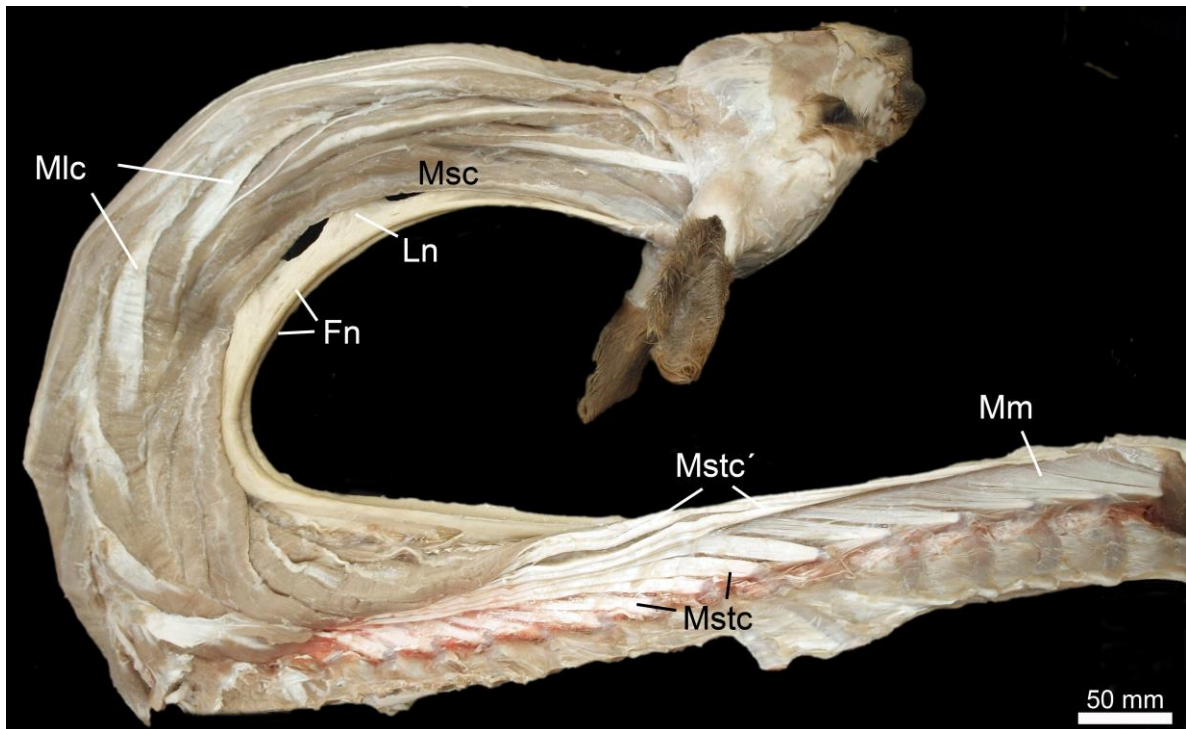


Abb. 22: Mediales System der langen Hals- und Rückenmuskeln eines 18 Jahre alten Suri-Hengstes (Lateralansicht von links).

Fn = Funiculi nuchae; Ln = Lamina nuchae; Mlc = Anteile des M. longissimus cervicis; Mm = Mm. multifidi; Msc = M. spinalis capitis; Mstc und Mstc' = Spinalis- und Semispinalis-Anteil des M. spinalis et semispinalis thoracis et cervicis

M. spinalis et semispinalis thoracis et cervicis

Der M. spinalis et semispinalis thoracis (Abb. 22) liegt dem M. longissimus thoracis et lumborum dorsal und dem Lig. supraspinale ventral an. Der M. semispinalis entspringt im Bereich des 3. bis 5. Lendenwirbels am Lig. supraspinale, der Endaponeurose des M. longissimus thoracis et lumborum, von den Dornfortsätzen der letzten 3 bis 4 Brustwirbel und denen der ersten 4 Lendenwirbel. Der Muskel geht in 6-7 dünne Sehnen über, die fast horizontal kopfwärts ziehen und lateral an den Dornfortsätzen der ersten 8 Brustwirbel inserieren. Die beiden am weitesten ventral gelegenen Sehnen sind mit dem M. semispinalis capitis verwachsen. Von den kranialen Gelenk- und den Zitzenfortsätzen bzw. den Mamillioartikularfortsätzen der zwei letzten Brust- und dem ersten Lendenwirbel nimmt der Muskel zusätzliche Sehnen auf. Diese repräsentieren den semispinalen Anteil des Muskels. Der Muskel inseriert an den Dornfortsätzen der letzten 5 Halswirbel.

Der M. spinalis cervicis ist eng mit den Mm. multifidi verschmelzen. Seinen Ursprung hat der Muskel an den Procc. mamillares der ersten 6 Brustwirbel. Er inseriert an den Dornfortsätzen der letzten 3 Halswirbel.

Die Mm. multifidi und der M. semispinalis cervicis werden durch den Austritt der Dorsalästen der Spinalnerven voneinander getrennt.

Mm. multifidi (vielästige Muskeln)

Die Mm. multifidi können wie die restliche Stammesmuskulatur ebenfalls in eine Lenden-, Brust- und Halsportion eingeteilt werden. Die verschiedenen Segmente liegen den Wirbelkörpern über die gesamte Länge der Wirbelsäule direkt auf und ziehen immer von hinten-aussen-unten nach vorne-innen-oben.

Die **Mm. multifidi lumborum** (Abb. 22; Abb. 23) sind recht kräftig und entspringen am 1. Schwanzwirbel und den Procc. mamilloarticulares der Lendenwirbel. Sie überspringen in ihrem Verlauf 3-4 Wirbelsegmente, um dorsolateral am Dornfortsatz des jeweiligen Wirbels anzusetzen. Die kranialen Mm. multifidi lumborum verschmelzen mit dem M. semispinalis thoracis, die kaudalen hingegen nicht. Medial der Mm. multifidi lumborum befindet sich eine zusätzlich Schicht flacher Mm. multifidi mit gleichem Verlauf. Diese Muskeln entspringen am kranialen Gelenkfortsatz und setzen am Kaudalrand des jeweils übernächsten Wirbels an. Sie ziehen in die Faszie des M. longissimus lumborum et thoracis hinein.

Im Brustbereich sind die Mm. multifidi nicht so breit wie im Lendenbereich. Die **Mm. multifidi thoracis** beginnen ebenfalls an den Gelenk- und Zitzenfortsätzen der Brustwirbel. Ihren Ansatz haben sie laterokaudal an den Procc. spinosi des übernächsten Wirbels.

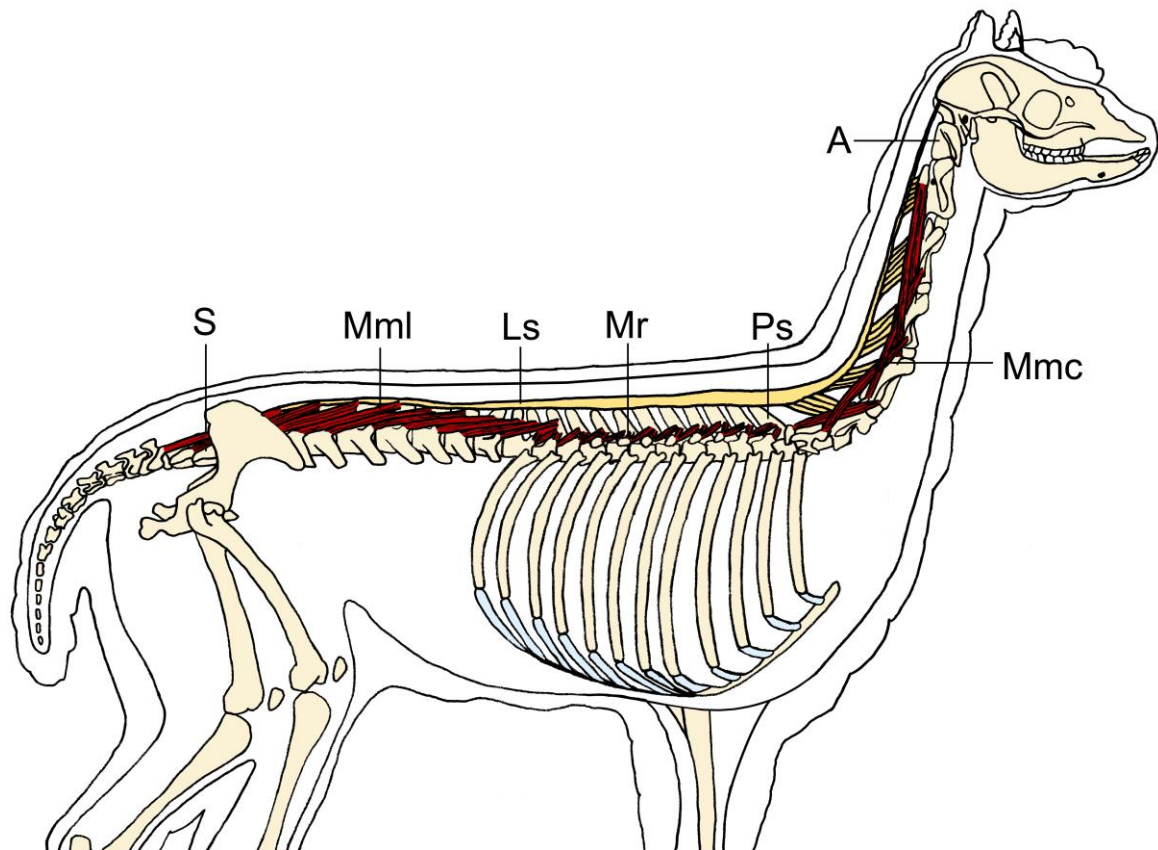


Abb. 23: Zeichnung der Mm. multifidi und Mm. rotatores eines adulten Lamas (Lateralansicht von rechts; Mm. multifidi thoracis entfernt zur besseren Darstellung der medial davon liegenden Mm. rotatores).

A = Atlas; Ls = Lig. spinale; Mmc = Mm. multifidi cervicis; Mml = Mm. multifidi lumborum; Mr = Mm. rotatores; Ps = Proc. spinosus des 1. Brustwirbel; S = Sakrum

Auch die **Mm. multifidi cervicis** (Abb. 23) entspringen an den kranialen Gelenkfortsätzen der Halswirbel und der ersten 3 Brustwirbel. Vom 1. Brustwirbel zieht der Muskelbauch an den 5. Halswirbel, vom 7. an den 4. und vom 6. an den 3. Halswirbel. Die beiden kranialsten Segmente entspringen an den Procc. articulares craniales vom 5. und 4. Halswirbel, um am Proc. spinosus, sowie dorsal am Wirbelbogen des Axis anzusetzen.

Vor allem im Halsbereich liegen die einzelnen Segmente dem nächsten kranial entspringenden Segment lateral an und sind auch teilweise miteinander verschmolzen. Kaudal werden die Mm. multifidi durch den M. sacrococcygeus dorsalis medialis weitergeführt.

Die Mm. multifidi unterstützen die restliche lange Hals- und Rückenmuskulatur bei der Feststellung der Wirbelsäule. Zusätzlich stellen sie die Wirbelsäule auf und biegen bei einseitiger Kontraktion die Wirbelsäule zur Seite.

Die Mm. multifidi werden ebenfalls segmental von den Dorsalästen der Hals-, Brust- und Lendenwirbel der jeweiligen Region innerviert.

Tabelle 7: Mediales System der langen Hals- und Rückenmuskulatur

Name	Funktion	Innervation
M. spinalis et semispinalis	Strecken der Halswirbelsäule bei beidseitiger Kontraktion; Haltefunktion des Halses durch sehnige Durchsetzung; Unterstützung der übrigen Hals- und Rückenmuskulatur beim Seitwärtsbewegen bei einseitiger Kontraktion	Dorsaläste der jeweiligen Hals-, Brust- und Lendenwirbel
Mm. multifidi	Unterstützung der restlichen Hals- und Rückenmuskulatur bei der Feststellung der Wirbelsäule, Aufstellen der Wirbelsäule, Seitwärtsbewegen bei einseitiger Kontraktion	Dorsaläste der jeweiligen Hals-, Brust- und Lendenwirbel

4.3.3.2 Kurze Hals- und Rückenmuskeln

Mm. intertransversarii (Zwischenquerfortsatzmuskeln)

Die Mm. intertransversarii (Tabelle 8) verbinden die Querfortsätze benachbarter Wirbel. Beim Alpaka existieren die Mm. intertransversarii als muskuläre Verbindungen nur zwischen den Halswirbeln. In der Brustwirbelsäule können keine nachgewiesen werden, während sie im Lumbalbereich der Wirbelsäule rein sehnig sind und als Ligg. intertransversaria bezeichnet werden (s. 4.2.2). Beim Alpaka kann am Hals zwischen dorsalen und ventralen Zwischenquerfortsatzmuskeln unterschieden werden.

Die **Mm. intertransversarii dorsales cervicis** (Abb. 24) verbinden die Gelenkfortsätze zwei benachbarter Wirbel. Außerdem ziehen sie mit einer stärkeren Portion vom kranialen Gelenkfortsatz an das kraniale Ende des Tuberculum dorsale des nächsten Wirbels und mit einer feinen Portion an die gleiche Stelle des übernächsten Wirbels. Die Muskeln erstrecken sich vom ersten Brustwirbel bis an den Atlas. Ab dem fünften Halswirbel sind beide Portionen stärker ausgebildet. Der kranialste Bauch, der am Proc. transversus des Querfortsatzes des Axis entspringt, setzt kaudovertral am Atlasflügel an.

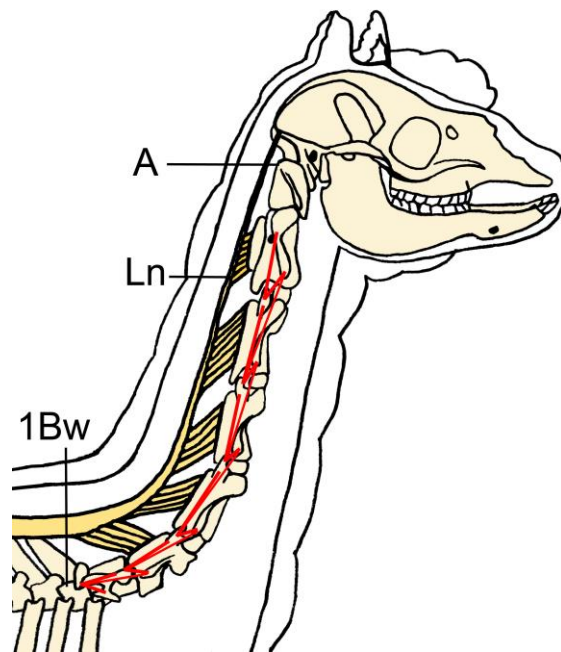


Abb. 24: Zeichnung der Mm. intertransversarii dorsales cervicis eines adulten Alpaka (Lateralansicht von rechts)

A = Atlas; 1Bw = 1. Brustwirbel; Ln = Ligamentum nuchae

Die **Mm. intertransversarii ventrales cervicis** (Abb. 25) sind beim Alpaka in eine laterale und eine mediale Lage aufgeteilt.

Die laterale Lage besteht aus Muskelbündeln, die am Tuberculum ventrale des Querfortsatzes entspringen und an das Tuberculum dorsale des nächsten bzw. übernächsten Wirbels ziehen. Zusätzlich verbinden sie benachbarte ventrale Tuberkula und tauschen Fasern mit der medialen Lage aus. Während sie an ihrem Ansatz fest verwachsen sind, können sie an ihrem Ursprung getrennt werden.

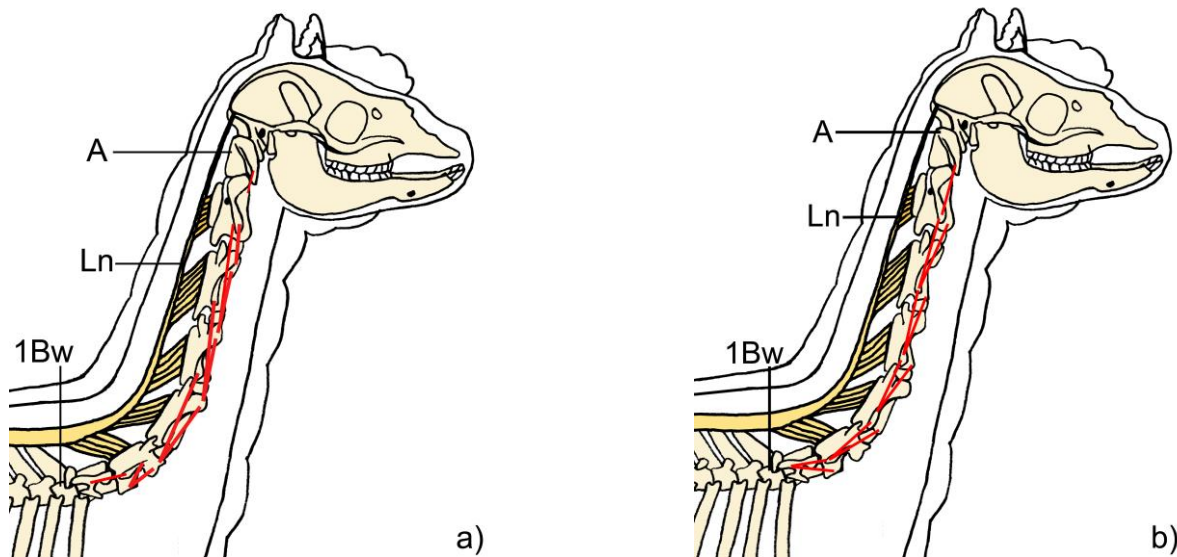


Abb. 25: Zeichnungen der Mm. intertransversarii ventrales- a) laterale und b) mediale Schicht eines adulten Alpakas (Lateralansicht von rechts).

A = Atlas; 1Bw = 1. Brustwirbel; Ln = Lig. nuchae

Die mediale Lage setzt sich aus verschiedenen kurzen Muskelfaserzügen zusammen. Diese verbinden die ventralen und dorsalen Tuberkel der Querfortsätze des gleichen Wirbels, sowie benachbarter Wirbel jeweils untereinander. Sie entspringen bzw. inserieren entlang des gesamten Querfortsatzes.

Ihre Funktion besteht in der Seitwärtsbiegung und Feststellung der Halswirbelsäule.

Die Querfortsatzmuskeln werden von den Dorsal- bzw. Ventralästen der jeweiligen Halsnerven innerviert.

Zwischen dem kaudalen und kranialen Anteil der Lamina ventralis des 6. Halswirbels spannt sich statt eines Muskels ein straffes Band aus kollagenfaserigem Bindegewebe (Abb. 17). Von diesem Band ziehen Bindegewebsfasern fächerförmig kraniodorsal, um am Querfortsatz des 6. Halswirbels zu enden. Auf diese Weise formt sich eine Art Pforte unter welcher die Mm. intertransversarii hindurchziehen.

Mm. interspinales (Zwischendornmuskeln)

Die Mm. interspinales sind beim Alpaka rein bindegewebig ausgebildet und werden deshalb als Ligg. interspinalia bezeichnet. Die detaillierte Beschreibung der Ligg. interspinalia findet sich im Kapitel 4.2.2.

Mm. rotatores (Dreher)

Bei den Mm. rotatores (Abb. 15; Abb. 23) handelt es sich um sehr dünne Muskeln, die medial der Mm. multifidi den Brustwirbeln direkt aufliegen. Sie entspringen an

den kranialen Gelenk- und Zitzenfortsätzen und bestehen aus kurzen und langen Fasern, die kraniodorsal ziehen um laterokaudal am nächsten oder übernächsten Dornfortsatz anzusetzen. Die kurzen Fasern ziehen an den kranial gelegenen Wirbel, während die langen Fasern ein Segment überspringen.

Die Mm. rotatores unterstützen die Mm. multifidi in ihrer Funktion.

Die Innervation erfolgt durch die Dorsaläste der jeweiligen Spinalnerven der Brust- oder Lendennerven.

Tabelle 8: Kurze Hals- und Rückenmuskeln

Name	Funktion	Innervation
Mm. intertransversarii	Seitwärtsbiegung der Halswirbelsäule	Rr. dorsales bzw. ventrales der jeweiligen Spinalnerven
Mm. rotatores	Unterstützung der Mm. multifidi in ihrer Funktion	Dorsaläste der jeweiligen Brustnerven

4.3.3.3 Abwärtsbieger der Halswirbelsäule

M. longus colli

Der M. longus colli (Abb. 26) liegt den Wirbelkörpern der Halswirbelsäule ventral und den Mm. intertransversarii ventrales medial an. Er setzt sich aus mehreren Muskelbäuchen zusammen, welche segmental entlang der Wirbelsäule ihren Ursprung haben. In der kranialen Brustwirbelsäule sind die verschiedenen Anteile des M. longus colli sehr eng verbunden, was ihre Unterscheidung teilweise recht schwierig macht. Die ersten Muskelbäuche entspringen am kranioventralen Ende des 3. bis 4. Brustwirbels und sind kräftiger als die Muskelbäuche weiter kranial. Sie formen aufgrund ihres schrägen, kraniolateralen Verlaufs ein V, dessen Spitze kaudal zeigt. Auf der Höhe der Halswirbelsäule ab dem 7. Halswirbel hingegen zeigt die Spitze des V kranial. Die verschiedenen Segmente entspringen medial am Tuberculum ventrale des Querfortsatzes. Von ihrem Ursprung ziehen sie mediokranial, überspringen zwei Wirbelsegmente und setzen am Tuberculum ventrale des übernächsten Wirbels an. Vom 3. Halswirbel zieht der Muskel bis zum Tuberculum ventrale des Atlas. Die Muskeln der beiden Seiten treffen an ihrem Ansatz in der Medianen zusammen. Der Übergang von dem Verlauf in der Brustwirbelsäule auf die Halswirbelsäule verläuft ungefähr auf Höhe des 6 Hals- bis zum 1. Brustwirbel, da dort die Muskelfasern parallel verlaufen.



Abb. 26: M. longus colli eines 6,5 Monate alten Huacaya-Cria (Ansicht von ventral).
Mlc = M. longus colli; R = 1. Rippe (rechts); Tv = Tuberculum ventrale craniale und caudale

Der M. longus colli ist ein kräftiger Abwärtsbieger des Halses.

Die Innervation des M. longus colli erfolgt ebenfalls segmental durch die Ventraläste der einzelnen Halsnerven.

Mm. scaleni

Bei den für diese Dissertation seziierten Alpakas konnte nur ein M. scalenus medius und ventralis (Tabelle 9), jedoch kein M. scalenus dorsalis nachgewiesen werden. Beide Muskeln werden durch den Austritt des Plexus brachialis voneinander getrennt.

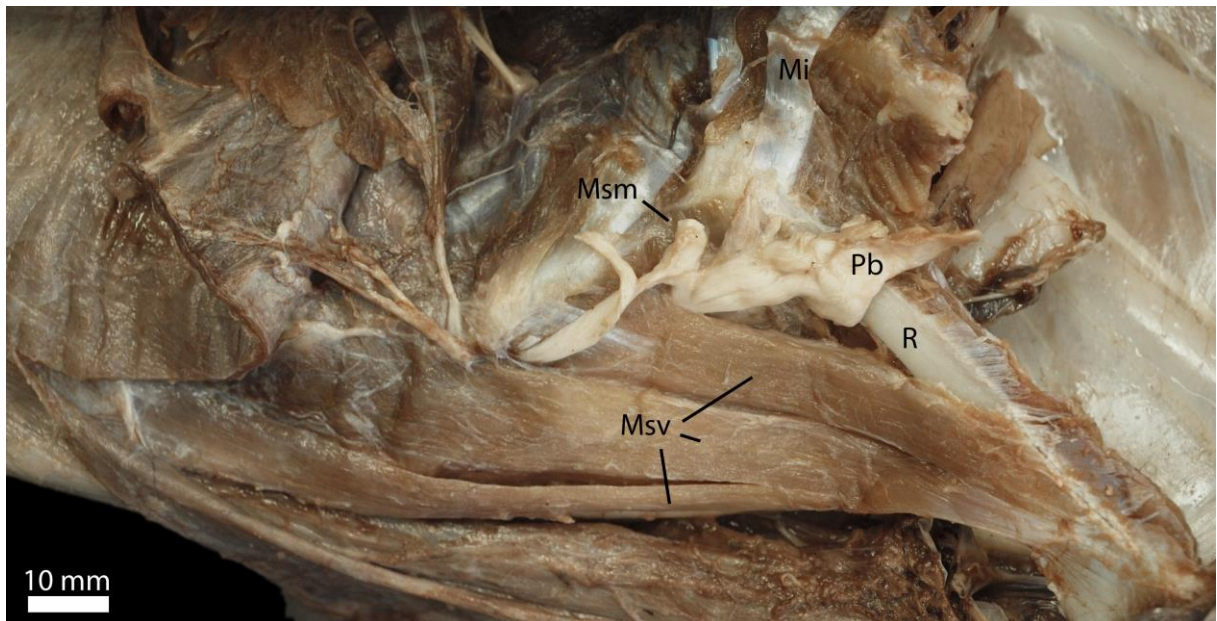


Abb. 27: Mm. scaleni eines 6,5 Monate alten Huacaya-Cria (Lateralansicht von links).
 Mi = M. iliocostalis; Msm = M. scalenus medius; Msv = 3 Anteile des M. scalenus ventralis;
 Pb = Plexus brachialis; R = 1. Rippe

Der **M. scalenus medius** (Abb. 27) liegt dorsal des Austritts des Plexus brachialis. Er zieht vom kranialen Rand der 1. Rippe an den Querfortsatz des 7. Halswirbels.

Der **M. scalenus ventralis** (Abb. 27) entspringt lateral entlang des Kranialrandes der 1. Rippe. Er besteht aus drei Portionen. Während die dorsal gelegene Portion eigenständig ist und sich gut trennen lässt, sind die beiden ventralen Portionen enger verschmolzen und lassen sich an ihrem Ursprung an der 1. Rippe nicht trennen.

Die am weitesten dorsal gelegene Portion zieht von der 1. Rippe an den Querfortsatz des 7. Halswirbels. Die mittlere und ventrale Portion des M. scalenus ventralis inserieren am Querfortsatz des 6. bzw. 5. Halswirbels. Sie werden kranial durch den Austritt des 7. Halsnerven voneinander getrennt.

Die Mm. scaleni agieren als Abwärtsbieger der Halswirbelsäule.

Für die Innervation der Mm. scaleni sind die Ventraläste des 5. Hals- bis zum 1. Brustnerven zuständig.

Tabelle 9: Abwärtsbieger der Halswirbelsäule

Name	Funktion	Innervation
M. longus colli	Abwärtsbiegen der Halswirbelsäule	Ventraläste der jeweiligen Halsnerven
Mm. scaleni	Abwärtsbiegen der Halswirbelsäule	Ventraläste des 5. Hals- bis 1. Brustnerven

4.3.4 Lange Zungenbeinmuskeln (Mm. hyoidei)

Zu dieser Gruppe werden folgende Muskeln gezählt (Tabelle 10):

- M. sternohyoideus (Brustbein-Zungenbein-Muskel)
- M. sternothyreoideus (Brustbein-Schildknorpel-Muskel)
- M. omohyoideus (Schulter-Zungenbein-Muskel)

Bei den langen Zungenbeinmuskeln handelt es sich um dünne, riemenförmige Muskeln, die dem Hals ventral aufliegen. Die Muskelpaare beider Seiten sowie die verschiedenen Muskeln sind an ihrem Ursprung am Manubrium sterni miteinander verschmolzen.

M. sternothyreoideus & M. sternohyoideus

Beim M. sternothyreoideus und M. sternohyoideus handelt es sich um recht dünne Muskeln, welche bedeckt vom M. sternomastoideus ventral der Trachea anliegend kranial ziehen. Gemeinsam mit letzterem entspringen beide muskulös am Manubrium sterni. Ungefähr in der Mitte des Halses gehen die beiden Muskeln in eine Art dünne Zwischensehne über. Diese geht auf Höhe des kranialen Drittels des Halses wieder in einen dünnen Muskel über. Diese beiden Muskeln sind nur im kranialen Halsdrittel sichtbar, weil sie kaudal vom M. sternomastoideus bedeckt werden.

Der M. sternothyreoideus verläuft lateral entlang der Trachea und endet lateral an der kaudalen Hälfte des Schildknorpels. Der M. sternohyoideus hingegen setzt seinen Verlauf ventral der Trachea fort um ventral am Basihyoid und Thyreohyoid zu inserieren. Die Trennung beider Muskeln erfolgt ungefähr auf Höhe des kranialen Drittels des Halses.

Beim M. sternothyreoideus und M. sternohyoideus handelt es sich um einen Rückwärtszieher des Kehlkopfes und des Zungenbeines. Sie unterstützen somit den Schluckvorgang und die Zungenbewegungen.

Die Innervation erfolgt über die ventralen Äste des 1. Halsnerven.

M. omohyoideus

Der M. omohyoideus (Abb. 18) ist deutlich kürzer aber kräftiger als die restlichen langen Muskeln des Zungenbeinapparates. Er entspringt auf Höhe des 2. bis 3. Halswirbels aus der Faszie. Er verläuft kranioventral um zwischen den beiden Unterkieferästen mit dem M. sternohyoideus zu verschmelzen und gemeinsam mit diesem am Thyreohyoideum sowie am Zungenbeinkörper anzusetzen. Der M. omohyoideus trennt als ungefähr 4-6 mm dicke Schicht die A. carotis communis und

die V. jugularis externa auf einer Länge von 30-40 mm. In seinem Verlauf wird er vom M. sternomastoideus lateral überkreuzt.

Der M. omohyoideus zieht den Zungenbeinapparat und somit die Zunge kaudal.

Auch der M. omohyoideus wird vom 1. Halsnerven innerviert.

Alle langen Muskeln des Zungenbeinapparates unterstützen hauptsächlich die Bewegungen der Zunge und somit auch in geringem Umfang die Flexion des Kopfes und Halses.

Tabelle 10: Lange Zungenbeinmuskeln

Name	Funktion	Innervation
M. sternohyoideus	Unterstützung der Flexion des Kopfes und Halses, sowie der Zungenbewegungen	Ventraläste des 1. Halsnerv
M. sternothyreoideus	Abwärtsbiegen der Halswirbelsäule	Ventraläste des 1. Halsnerv
M. omohyoideus	Unterstützung der Mm. multifidi in ihrer Funktion	1. Halsnerv

Zu der Gruppe der Halsmuskeln (Tabelle 11) gehört folgender Muskel:

- M. sternocephalicus

M. sternocephalicus

Bei den untersuchten Alpakas besteht der M. sternocephalicus nur aus einem einzigen Muskel, der die langen Zungenbeinmuskeln ventral bedeckt. Zusammen mit dem M. sternothyreoideus und M. sternohyoideus entspringt dieser am Manubrium sterni. Die Muskeln beider Seiten sind ventral in der Medianen durch Bindegewebe miteinander verbunden. Auf Höhe des 3. Halswirbels zieht der M. sternocephalicus laterodorsal über die Glandula parotis und den M. omohyoideus (Abb. 18). Auf der gleichen Höhe wird der Muskel von der V. jugularis überkreuzt und geht in seine Endsehne über. Die Endsehne des M. sternocephalicus inseriert am Proc. mastoideus. Kaudal der Mandibula fächert sich die Sehne außerdem auf und inseriert zusätzlich noch kaudal am Unterkieferast. Der M. sternocephalicus besteht beim Alpaka demnach nicht wie beim Wiederkäuer aus einem eigenständigen M. sternomandibularis und einem M. sternomastoideus, besitzt aber trotzdem einen Insertionspunkt sowohl an der Mandibula als auch am Okkziput.

Der M. sternocephalicus ist bei beidseitiger Kontraktion verantwortlich für die Flexion des Kopfes und Halses. Bei einseitiger Kontraktion des Muskels, führt er den Kopf und Hals seitwärts.

Tabelle 11: Halsmuskeln

Name	Funktion	Innervation
M. sternocephalicus	Beugen und Seitwärtsbiegen des Kopfes und kranialen Halses	Ventraläste der jeweiligen Halsnerven

4.3.4.1 Muskeln des Schwanzes (Musculi caudae)

Die Schwanzmuskeln werden sehr eng von den Faszien umhüllt, mit welchen sie verwachsen sind. Am Schwanzansatz zieht die Faszie in der Medianen zwischen den Muskeln in die Tiefe, um an den Dornfortsätzen zu inserieren.

M. sacrococcygeus dorsalis medialis (kurzer Heber des Schwanzes)

Der kurze Heber des Schwanzes (Abb. 28) besteht aus mehreren einzelnen Segmenten, die wie die Mm. multifidi deren Fortsetzung sie darstellen von vorne-oben-innen schräg nach hinten-unten-außen ziehen. Die einzelnen Bündel ziehen jeweils von der Lateralfäche des Proc. spinosus des 3. bis 5. Kreuz- und den ersten Schwanzwirbel an die Gelenkfortsätze der Schwanzwirbel. Aufgrund der Rückbildung der Gelenkfortsätze gehen die Muskelbäuche weiter kaudal in dünne Sehnen über, die bis zur Schwanzspitze verfolgt werden können.

Der M. sacrococcygeus dorsalis medialis ist für das Heben des Schwanzes zuständig.

Langer Heber des Schwanzes (*M. sacrococcygeus dorsalis lateralis*)

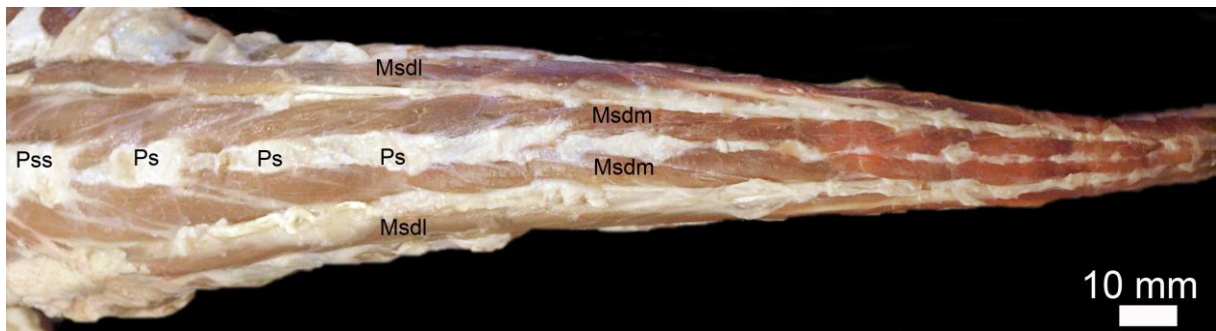


Abb. 28: Dorsale Schwanzmuskulatur eines 18 Jahre alten Suri-Hengstes (Ansicht von dorsal).

MsdL = *M. sacrococcygeus dorsalis lateralis*; MsdM = *M. sacrococcygeus medialis*;

Ps = Proc. spinosus eines Schwanzwirbels; Pss = Proc. spinosus des letzten Kreuzwirbels

Der lange Schwanzheber (Abb. 28) setzt den *M. longissimus lumborum* kaudal fort und liegt dem *M. sacrococcygeus dorsalis medialis lateralis* an. Dieser Muskel entspringt aus der Aponeurose des *M. longissimus lumborum*, entlang des gesamten Kreuzbeins, am medialen Rand des dorsalen Randes des Darmbeinflügels, am Sehnenspiegel, der ihn vom medialen Schwanzheber bzw. von den *Mm. multifidi* trennt, sowie an den rudimentären Procc. articulares craniales der ersten Schwanzwirbel. Von dort ziehen die einzelnen Segmente kaudodorsal und laufen jeweils in dünne Endsehnen aus, die z.T. bis zur Schwanzspitze verfolgt werden können.

Auch der *M. sacrococcygeus dorsalis lateralis* ist für das Heben des Schwanzes verantwortlich.

Sowohl der lange als auch der kurze Heber des Schwanzes werden durch Äste des Plexus caudalis dorsalis versorgt (Tabelle 12).

M. sacrococcygeus ventralis medialis (kurzer Niederzieher des Schwanzes)

Der kurze Niederzieher des Schwanzes nimmt seinen Ursprung ventral am Kreuzbein an den ersten Schwanzwirbel, sowie mit einigen Fasern medial am Beckenband. Er beginnt weiter kranial als der laterale Niederzieher. Die ersten Anteile dieses Muskels beginnen weiter kranial als der *M. sacrococcygeus ventralis lateralis*. Der Wirbelsäule ventral anliegend zieht der Muskel kaudal zu den letzten Schwanzwirbeln, an denen er mit mehreren dünnen Sehnen seinen Ansatz findet. Aufgrund ihrer paramedianen Lage bilden die kurzen Niederzieher beider Seiten eine Furche für die A. und V. sacralis mediana.

Der M. sacrococcygeus ventralis medialis besitzt die Funktion den Schwanz ventral zu ziehen und wird von Fasern des Plexus caudalis ventralis innerviert.

M. sacrococcygeus ventralis lateralis (langer Niederzieher des Schwanzes)

Der M. sacrococcygeus ventralis lateralis ist bei den sezierten Tieren kräftiger, aber kürzer ausgebildet als der mediale Niederzieher. Wie die restlichen Schwanzmuskeln besteht er aus einzelnen Bündeln, die sich jeweils dem kranialen Bündel lateral anlegen. Er entspringt ventral am 2.-3. Kreuzwirbel, an den Querfortsätzen der ersten 12-14 Schwanzwirbel und medial am breiten Beckenband. Seine dünnen Endsehnen ziehen ventromedial und legen sich denen des M. sacrococcygeus ventralis medialis an. Der lange Niederzieher läuft in mehrere dünne Sehnen aus und setzt an den einzelnen Schwanzwirbeln an.

Zusammen mit dem kurzen Niederzieher ist er dafür verantwortlich den Schwanz ventral zu ziehen.

Die Innervation erfolgt ebenfalls durch Äste des Plexus caudalis ventralis.

Mm. intertransversarii caudae (Zwischenquerfortsatzmuskeln)

Die Zwischenquerfortsatzmuskeln liegen seitlich den Schwanzwirbeln zwischen dem langen Niederzieher und dem langen Heber des Schwanzes an. Sie verbinden die Querfortsätze benachbarter Wirbel. Das erste Muskelbündel entspringt am kaudodorsalen Rand des Lig. sacrotuberale latum, bedeckt durch den Ursprung des Wirbelkopfes des M. semitendinosus.

Die Mm. intertransversarii sind zuständig für die Seitwärtsbewegungen des Schwanzes und werden von Nervenästen des Plexus caudalis dorsalis und ventralis innerviert.

M. coccygeus (langer Seitwärtszieher des Schwanzes)

Der M. coccygeus ist ein recht dünner Muskel. Er entspringt an der medialen Seite des Lig. latum und an der Spina ischiadica. Seinen Ansatz findet der Muskel zwischen den Mm. intertransversarii und dem M. sacrococcygeus lateralis ventralis an den Querfortsätzen des 2. und 3. Schwanzwirbels. In seinem Verlauf wird er vom Wirbelkopf des M. semimembranosus überdeckt.

Die Ventraläste der letzten Sakralnerven sind für die Innervation des M. coccygeus verantwortlich.

Tabelle 12: Muskeln des Schwanzes

Name	Funktion	Innervation
M. sacrococcygeus dorsalis medialis	Heben des Schwanzes	Nervenäste des Plexus caudalis dorsalis
M. sacrococcygeus dorsalis lateralis	Heben des Schwanzes	Nervenäste des Plexus caudalis dorsalis
M. sacrococcygeus ventralis medialis	Niederziehen des Schwanzes	Nervenäste des Plexus caudalis ventralis
M. sacrococcygeus ventralis lateralis	Niederziehen des Schwanzes	Nervenäste des Plexus caudalis ventralis
Mm. intertransversarii caudae	Seitwärtsbiegen des Schwanzes	Nervenäste des Plexus caudalis dorsalis und ventralis
M. coccygeus	Seitwärtsbiegen des Schwanzes	Ventraläste der Sakralnerven

5 Diskussion

Die Gruppe der Schwielensohler hat im Laufe der Evolution verschiedene anatomische Besonderheiten entwickelt. Das äußerlich wohl auffälligste Merkmal der Neuweltkameliden ist der im Verhältnis zur Körperlänge schlanke, lange Hals. Ein solch langer Hals findet sich nur bei einigen wenigen anderen Arten der Paarhufer wie z.B. den Giraffen (*Giraffa*, BRISSON, 1762) oder einigen Gazellenarten wie z.B. den Giraffengazellen (*Litocranius*, KOHL, 1886). Zusätzlich strecken Neuweltkameliden ihren Hals nahezu senkrecht nach oben. Der lange Hals bietet dem Alpaka Vorteile, sowohl bei der Nahrungsaufnahme als auch bei der frühzeitigen Erkennung von möglichen Fressfeinden. Der Lebensraum der beiden Wildformen der Neuweltkameliden, dem Guanako und dem Vikunja erstreckt sich von den Hocheben der Anden bis in die als Pampa bezeichnete Grassteppe Südamerikas. Die dort vorhandene Flora beschränkt sich auf verschiedene Arten von Gräsern und niedrigen Sträuchern und nur wenig Bäumen (FOWLER & BRAVO, 2010). Ihr Lebensraum liefert den Neuweltkameliden somit nur wenige Versteckmöglichkeiten. Den Tieren mit einem längeren Hals ist es möglich einen grösseren Radius ihrer Umgebung nach Fressfeinden abzusuchen und bei drohender Gefahr frühzeitig die Flucht zu ergreifen und somit ihr Überleben zu sichern. Die Anatomie der Kameliden hat sich im Laufe der Evolution außerdem an das kraftsparende Zurücklegen weiter Distanzen angepasst. Aufgrund der eher kargen Vegetation mussten die Kameliden auf der Suche nach Nahrung zum Teil weite Strecken zurück legen. In diesem Sinne haben sie sich zu grossen Tiere entwickelt mit einem relativ engen, kurzen, wenig beweglichen Stamm und langen, schlanken Gliedmaßen (PREUSCHOFT et al., 1994). Die distalen Anteile der Gliedmaßen sind verlängert und die Muskelmassen konzentrieren sich auf die proximalen Anteile der Gliedmaßen (PREUSCHOFT et al., 1994). Zusammen mit der fehlenden Kniefalte, welche die Bewegung der Beckengliedmasse beeinträchtigt, erlauben diese anatomischen Anpassungen den Kameliden eine energieeffiziente Fortbewegung (FOWLER, 2010a). Aufgrund der vorwiegend bodennah wachsenden Vegetation ihres Lebensraumes sind die Neuweltkameliden gezwungen sich von Gras und niedrigen Sträuchern zu ernähren. Aus diesem Grund entwickelten sich bei den Neuweltkameliden vermutlich parallel zu den langen Beine im Laufe der Evolution ein immer längerer Hals, der es ihnen ermöglicht, zu grasen ohne sich

niederknien zu müssen, was ihnen wiederum einen Vorteil im Überlebenskampf verschaffte.

Bei den Untersuchungen, die dieser Dissertationsschrift zugrunde liegen, können sowohl am aktiven als auch am passiven Trageapparat der Wirbelsäule anatomische Anpassungen an den langen, schlanken Hals festgestellt werden, die auf diese Weise nicht bei den Haussäugetieren beschrieben sind.

5.1 Passiver Trageapparat

5.1.1 Knochen

An der knöchernen Wirbelsäule fällt als erstes auf, dass die Halswirbelsäule aus vergleichsweise recht langen Wirbeln besteht (AZZOPARDI, 2012; STOLWORTHY et al., 2015a; STOLWORTHY et al., 2015b), die deutlich länger als die Brust- und Lendenwirbel sind. Einzig der erste und der letzte Halswirbel sind kürzer (PACHECO TORRES et al., 1979; AZZOPARDI, 2012; STOLWORTHY et al., 2015a; STOLWORTHY et al., 2015b). Die Länge der Halswirbel verleiht der Halswirbelsäule einen langen Hebeleffekt (STOLWORTHY et al., 2015a) und somit einen relativ hohen Grad an Beweglichkeit (FOWLER, 2010b; AZZOPARDI, 2012).

Eine Besonderheit, die sich auch an den kaudal folgenden Halswirbeln zeigt, ist, dass das Foramen transversarium nicht den Querfortsatz, sondern den Wirbelkörper durchzieht (FUENTES TAPIA, 1953). Das For. transversarium ist eine breite Öffnung, die sich kaudal der modifizierten Gelenkfortsätze öffnet und dorsal mit dem For. intervertebrale und kaudal über einen kleinen Kanal mit dem Wirbelkanal kommuniziert (FUENTES TAPIA, 1953). Außerdem sind vom Axis bis zum 6. Halswirbel im Wirbelkanal transversale Kanäle ausgebildet, in welchen die A. vertebralis verläuft (PACHECO TORRES et al., 1979). Durch die Aneinanderreihung dieser Knochenspangen, die sich in der kranialen Hälfte des 2. bis 6. Halswirbels von der Innenseite des Wirbelbogens bis an die dorsale Fläche des Wirbelkörpers erstrecken, entsteht der „Canalis pedicularis vertebralis*“. Bei den Haussäugetieren durchbohrt das For. transversarium hingegen den Querfortsatz der Halswirbel (NICKEL et al., 2004). Daher verläuft die A. vertebralis bei diesen Spezies lateral an der Wirbelsäule entlang, während sie bei den untersuchten Alpakas im Inneren des Wirbelkanals entlang zieht. Ein weiterer Unterschied zwischen Haussäugetieren und

* Nicht in der NAV (2017) gelistet. Begriff aus (ARZONE et al., 2008)

Alpaka besteht darin, dass zusätzlich zur A. vertebralis, noch die V. und der N. vertebralis durch diesen Kanal verlaufen (NICKEL et al., 2004). Es stellt sich die Frage, warum sich diese knöcherne Eigenart bei den Kameliden, im Gegensatz zu den anderen Haussäugetern durchgesetzt hat. Eine mögliche Erklärung dafür könnte die Länge und der damit zusammenhängende Bewegungsradius des Halses sein. So versuchen die Hengste während der Rangkämpfe den Gegner mit ihrem Hals zu Boden zu drücken (HEINEMANN, 1968). Auch während der Brunft vollführen Alpakas mit ihrem Hals ausladende Bewegungen in sämtliche Richtungen. Wenn man die Länge und Beweglichkeit als Erklärungsversuch in Betracht zieht, lohnt es sich einen Blick auf die Halswirbelsäule anderer langhalsiger Tiere zu werfen. Das Säugetier mit dem längsten Hals ist die Giraffe, die zur Unterordnung der Wiederkäuer (*Ruminantia*, SCOPOLI 1771) zählt. Hingegen ergaben anatomische Untersuchungen der Giraffe, dass sich die Querfortsätze zwischen der kranialen und kaudalen Öffnung des For. transversarium erheben (DANOWITZ & SOLOUNIAS, 2015). Somit liegt der Canalis transversarius*, trotz der extremen Länge des Halses nicht wie beim Alpaka im Inneren des Wirbelkanals, sondern wie bei den Haussäugetieren lateral des Wirbelkanals. Die Besonderheit eines langen Halses ist in einer anderen Tierklasse viel häufiger ausgeprägt, nämlich in der Klasse der Vögel (*Aves*, LINNAEUS, 1782). So besitzen z. B. Gänsevögel (*Anseriformes*, WAGLER 1831) oder Kraniche (*Gruiformes*, BONAPARTE 1854) sehr lange, schlanke Hälse. Im Gegensatz zu den Säugetieren besitzen Vögel außerdem deutlich mehr als 7, nämlich zwischen 11-24 Halswirbel (VOLLMERHAUS, 2004). Trotz ihres deutlich längeren Halses verläuft der Canalis transversarius bei Vögeln nicht im Inneren des Wirbelkanals, sondern durchbohrt ebenfalls den Ursprung der Querfortsätze. Somit scheint der Verlauf der A. vertebralis im Inneren des Wirbelkanals nicht unbedingt einen entscheidenden Vorteil zu liefern, wenn das Tier einen langen Hals besitzt und scheint eine Besonderheit darzustellen, die sich in der Klasse der Säugetiere ausschließlich in der Familie der Kamele (*Camelidae*, GRAY 1821) entwickelt hat. An den Halswirbeln des Alpakas sind mediokaudal der kranialen Gelenkfortsätze sehr deutliche Vertiefungen ausgebildet, die bei Bewegungen des Halses die kaudalen Gelenkfortsätze des kranial gelegenen Halswirbels aufnehmen. Diese

* Nicht in (NAV, 2017) gelistet.

Besonderheit ist wichtig, um den großen Bewegungsradius des Halses zu ermöglichen.

Auch der 6. Halswirbel besitzt ein weiteres außergewöhnliches Merkmal. Bei den Haussäugetieren bildet der Proc. transversus des 6. Halswirbels nämlich statt des Tuberculum ventrale, eine Art Knochenplatte, die Lamina ventralis (NICKEL et al., 2004). Das Alpaka hingegen besitzt anstatt einer durchgehenden Lamina ventralis, das Tuberculum ventrale des Querfortsatzes und einen weiteren Knochenfortsatz am kaudalen Ende des Wirbelkörpers, der weiter medial liegt als das kraniale Tuberculum. Die beiden Fortsätze sind durch einen kräftigen, bindegewebigen Strang verbunden, der zusätzlich fächerartig Fasern an den Querfortsatz entlässt. Dieser bindegewebige Fächer könnte als eine Art flexible Schutzmembran für medial liegende wichtige Strukturen dienen. Allerdings verläuft die V. jugularis ventral am Hals entlang und die A. vertebralis im Inneren des Wirbelkanals und tritt erst weiter kaudal, zwischen dem 6. und 7. Halswirbel aus dem Wirbelkanal aus. Somit verlaufen auf Höhe des 6. Halswirbels keine größeren Strukturen lateral an der Wirbelsäule entlang. In der vorhandenen Literatur gibt es zur Zeit keine Überlegungen oder Erklärungsversuche für die Ausbildung dieses bindegewebigen Fächers.

Die Brust- und Lendenwirbel unterscheiden sich nicht wesentlich von den Wirbeln anderer Haussäugetiere. Auffallend ist jedoch, dass die Dornfortsätze der Brustwirbelsäule im tierartigen Vergleich recht niedrig sind. Bei den Haussäugetieren, vor allem beim Pferd, Schwein und Wiederkäuer sind die Dornfortsätze der kranialen Brustwirbel sehr hoch und bilden einen markanten Widerrist (NICKEL et al., 2004). Sie dienen der kräftigen Hals- und Kopfmuskulatur als Ursprung (LIEBICH & KÖNIG, 2015). Beim Alpaka sind die Dornfortsätze kürzer und überragen den Schulterblattknorpel nicht. Daher besitzt das Alpaka keinen so deutlich ausgeprägten Widerrist, was sich damit erklären lässt, dass es aufgrund der eher schwächer entwickelten dorsalen Muskulatur nicht so stark auf lange Dornfortsätze angewiesen ist.

Die Lendenwirbel zeigen einen ähnlichen Aufbau wie bei den Haussäugetieren mit langen Querfortsätzen (Procc. costales*), die Rudimente von Rippen darstellen (LIEBICH & KÖNIG, 2015). Sie sind beim Alpaka ausladend und zeigen kranial und

* Nicht in der NAV (2017) gelistet.

leicht ventral. Die sagittale Ausrichtung ihrer Gelenkfortsätze reduziert Seitwärtsbewegungen im Bereich der Lendenwirbelsäule und stabilisiert auf diese Weise den Lendenbereich der Wirbelsäule.

Die untersuchten Alpakas besaßen, mit Ausnahme eines 20-jährigen Hengstes, dessen Kreuzbein aus 5 verschmolzenen Wirbeln zusammengesetzt war, 4 Kreuzwirbel, die bis zum Erwachsenenalter der Tiere zunehmend mehr miteinander verknöchern. In den vorhandenen Literaturstellen über Neu- und Altweltkameliden gibt es unterschiedliche Angaben, was die Anzahl an Kreuzwirbel der Neuweltkameliden betrifft. Einige Autoren schreiben, dass das Kreuzbein aus 5 verwachsenen Kreuzwirbeln besteht (FUENTES TAPIA, 1953; AZZOPARDI, 2012; DOS SANTOS ROMERO, 2014). Laut PACHECO TORRES et al. (1979) hingegen ist der 5. Kreuzwirbel nicht komplett mit den vorherigen verschmolzen. Auch wenn der letzte Kreuzwirbel beim Dromedar nicht mit dem restlichen Kreuzbein verschmolzen ist, weist dieser laut SMUTS & BEZUIDENHOUT (1987c) typische Merkmale auf, so dass er zweifellos zu den Kreuzwirbeln und nicht zu den Schwanzwirbeln gezählt werden muss. Eine genaue Auflistung der Gründe, weshalb der erste frei bewegliche Wirbel zu den Kreuzwirbeln gezählt wird, wird allerdings von keinem der Autoren genannt. Aufgrund der Tatsache, dass der erste freie Wirbel kaudal des Kreuzbeines nicht mit letzterem verwachsen ist und wegen seiner Schwanzwirbel-ähnlichen Struktur, wird dieser Wirbel in dieser Studie eindeutig als erster Schwanzwirbel definiert. Auch kann beim Kreuzbein des 20-jährigen Hengstes ein klarer Unterschied zwischen den Verschmelzungspunkten der einzelnen Kreuzwirbel und jenem zwischen dem letzten Kreuz- und 1. Schwanzwirbel festgestellt werden. Das Verschmelzen des ersten Schwanzwirbels mit dem kaudalen Ende des Kreuzbeines bei älteren Individuen, wie es bei einem der für diese Studie sezierten Tiere festgestellt werden konnte, wurde auch bei den Haussäugetieren beschrieben. Das Kreuzbein macht beim Alpaka einen kaudoventralen Bogen. SMUTS & BEZUIDENHOUT (1987) haben beschrieben, dass diese Biegung bei Dromedarstuten deutlicher ausgebildet ist als bei Hengsten. Bei den für diese Studie sezierten Tieren kann kein Unterschied in der Form des Kreuzbeines zwischen weiblichen und männlichen Alpakas festgestellt werden. Allerdings beinhaltet diese Studie eine relativ kleine Tierzahl, so dass diese Tatsache anhand einer größeren Anzahl an Tieren nochmals kontrolliert werden müsste, um

eine sichere Aussage bezüglich der Form des Kreuzbeines bei beiden Geschlechtern treffen zu können.

Die Dornfortsätze der einzelnen Wirbel sind eigenständig (PACHECO TORRES et al., 1979). Der Proc. spinosus des 1. Kreuzwirbels ist im Verhältnis zu dem des letzten Lendenwirbels sehr kurz (DOS SANTOS ROMERO, 2014).

Die Schwanzwirbel ähneln in ihrem Aufbau denen der Haussäugetiere. Der Wirbelkanal öffnet sich ungefähr am 6. Schwanzwirbel und bildet sich zur Schwanzspitze hin zurück.

5.1.2 Bänder

Bezüglich des Bandapparates der Wirbelsäule der Neuweltkameliden können in der Literatur nur sehr wenige Informationen gefunden werden. Einzig STOLWORTHY et al. (2015b) haben die nach und nach breiter werdenden Zwischenwirbelscheiben der Halswirbelsäule, sowie das gegabelte Nackenband beschrieben, das für die Stabilisation des Halses in vertikaler Richtung von Bedeutung zu sein scheint. SMUTS and BEZUIDENHOUT (1987b) beschreiben das Lig. nuchae als sehr kräftiges, elastisches Band, welches sich beim Dromedar vom kaudalen Ende des Schädelknochens bis in die kaudale Brustregion erstreckt, wo es in das Lig. supraspinale übergeht. Seine Beschreibung stimmt mit den Ergebnissen beim Alpaka überein. So besteht auch beim Alpaka das Nackenband aus einem paarigen Funiculus nuchae und einer paarigen Lamina nuchae. Die beiden Funiculi nuchae entspringen beiderseits der Medianen an der Protuberantia occipitalis externa. Ihr Querschnitt ändert seine Form von queroval am Ursprung, über rundlich im kranialen Brustbereich, um dann wieder queroval zu werden. Auf Höhe des 4.-5. Brustwirbels geht das Lig. nuchae in das Lig. supraspinale über, welches bis an die Lendenwirbel zieht. Das Lig. supraspinale liegt beim Alpaka den Dornfortsätzen nicht direkt auf, sondern leicht paramedian der Dornfortsatzspitze, so dass sich diese durch das Lig. supraspinale hindurch abdrücken. Die ebenfalls paarigen Anteile der Lamina nuchae entspringen ebenfalls an den Dornfortsätzen der Halswirbel, ziehen dann kaudodorsal, um mit dem Funiculus nuchae zu verschmelzen. Der Aufbau des Nackenbandes beim Alpaka ähnelt somit dem Aufbau beim Dromedar (SMUTS & BEZUIDENHOUT, 1987b), sowie dem bei Rind oder Pferd (NICKEL et al., 2004). Die Aufgabe des Nackenbandes besteht darin, die Last des Kopfes und Halses mit zu tragen und dadurch, dass es ständig unter Spannung steht, die Kopf-Halsmuskulatur

zu entlasten (LIEBICH & KÖNIG, 2015). Bänder funktionieren als passive Halteeinrichtungen, d.h. ohne Energieverbrauch und sind besonders an den Stellen von Nutzen, an denen eine ständige Spannung für Haltearbeit benötigt wird (HILDEBRAND & GOSLOW, 2004). Das starke Ligamentum nuchae ist bei grösseren Tieren mit langem Hals wie z.B. dem Pferd oder der Giraffe besonders stark ausgebildet und ermöglicht es dem Tier den Kopf ohne großen muskulären Kraftaufwand in Ruheposition zu halten (HILDEBRAND & GOSLOW, 2004). Senkt das Tier seinen Kopf, kontrahiert sich die entsprechende Muskulatur und das Lig. nuchae wird gedehnt (HILDEBRAND & GOSLOW, 2004). Zur Hebung des Kopfes allerdings, entspannt sich diese Muskulatur, was aufgrund der Dehnung des Nackenbandes dazu führt, dass der Kopf unter minimalstem Energieaufwand wieder in seine Ausgangsposition zurück geführt wird (HILDEBRAND & GOSLOW, 2004). Aus diesem Grund muss das Alpaka, um seinen Kopf zu senken, große Muskelkraft aufwenden, um gegen die hohe Spannung des Nackenbandes anzukämpfen. Die große elastische Spannung des Nackenbandes bei Dehnung entsteht dadurch, dass das Nackenband beim Alpaka zum Großteil aus elastischen Fasern besteht. Diese Entlastung der Muskulatur, wenn der Kopf oben gehalten wird, ist beim Alpaka um so wichtiger, da der Hals bei physiologischer Kopf-Hals-Stellung nahezu senkrecht nach oben zieht. Den Kopf einzig durch Muskelkraft in dieser Stellung zu halten, würde dem Alpaka einen sehr großen Energieaufwand abverlangen. Die Ausprägung der Zugwirkung des Lig. nuchae, lässt sich erahnen, wenn man die Abbildungen der Brust- und Halsmuskulatur mit dem fast spiralg eingrollten Hals betrachtet.

Neben dem sehr ausgeprägten Nackenband fallen in der Halswirbelsäule sehr dicke Zwischenwirbelscheiben auf. Diese zeigen zwischen den Halswirbeln eine Dicke von 6-8 mm auf und spielen sicherlich eine große Rolle in der Beweglichkeit des Halses. Sie sind vor allem deshalb sehr wichtig, da sie die kaum vorhandene Konkavität bzw. Konvexität der Extremitas cranialis und caudalis der Wirbelkörper kompensieren, um so dem Hals den nötigen Bewegungsfreiraum zu ermöglichen.

Das erste und zweite Kopfgelenk werden durch die gleichen Bänder unterstützt wie bei den Haussäugetieren. Das Alpaka besitzt ein Lig. atlantoaxiale ventrale, sowie das im Inneren des Wirbelkanals verlaufende Lig. longitudinale dentis. Bei den Haussäugetieren sind diese beiden Bänder nur beim Wiederkäuer und Pferd beschrieben (NICKEL et al., 2004).

Außerdem können beim Alpaka, wie auch beim Pferd (NICKEL et al., 2004), Ligg. alaria nachgewiesen werden. Ein Lig. transversum atlantis kann bei den untersuchten Tieren nicht gefunden werden. Das Fehlen des Lig. transversum atlantis lässt sich auch an der Form des Dens axis nachvollziehen: dieser ist am Knochenpräparat geradezu scharfrandig und daher nicht als Gleitfläche für ein Band geeignet.

5.2 Aktiver Trageapparat

Die Hals- und Rückenmuskulatur hat sich ebenfalls auf die, aufgrund der Länge und besonderen Stellung des Kopfes besonderen statischen Bedingungen angepasst. Das Grundprinzip der Muskulatur beim Alpaka ist jedoch das gleiche wie bei den Haussäugetieren. Die Rückenmuskulatur liegt zum Großteil dorsal der Querfortsätze der Wirbeln an und verbindet die Schädelbasis mit der Schwanzspitze. Die verschiedenen Muskeln sind in unterschiedlich starker Ausprägung in den einzelnen Wirbelsäulenabschnitten entwickelt. Man kann zwischen langen Muskeln, wie dem M. longissimus, welche lange Hals- und Rückensegmente miteinander verbinden und kürzeren Muskeln unterscheiden, wie z. B. den Mm. rotatores, die sich zwischen benachbarten Brustwirbeln ausdehnen. Die einzelnen Segmente der verschiedenen Muskeln überlappen sich meist dachziegelartig und tauschen regelmäßig Fasern untereinander aus. Diese Verschmelzung einzelner Segmente des gleichen Muskels, aber auch zwischen Anteilen verschiedener, benachbarter Muskel ist beim Alpaka besonders deutlich ausgeprägt und erschwert vor allem im kranialen Brust- und kaudalen Halsbereich die Trennung der einzelnen Portionen und deren Zuordnung zum jeweiligen Muskel. Diese enge Verwachsung und funktionelle Verflechtung stabilisiert die Halswirbelsäule. Außerdem ist bei den untersuchten Tieren aufgefallen, dass die Halsmuskulatur der Wirbelsäule sehr dicht anliegt und eng von kräftigen Faszien umhüllt wird, wodurch der schlanke Hals entsteht. Die dorsal der Querfortsätze gelegene Muskulatur ist im Vergleich zu anderen Spezies relativ dünn. Der M. splenius z.B. stellt sich bei den Haussäugetieren als kräftiger, platter Muskel dar, der den Bereich seitlich am Hals zwischen Widerrist und Hinterhauptsbein ausfüllt. Dieser entspringt im Halsbereich am dorsalen, medialen Sehnenstreifen und inseriert über die Fascia spinocostotransversalis an den freien Enden der Dornfortsätze der ersten Brustwirbel (SEIFERLE & FREWEIN, 2004). Bei den Neuweltkameliden wird der M. splenius in der Literatur auf unterschiedliche Weise

beschrieben. MENDOZA and MONTROYA (2002) beschreiben einen großen Muskel, der sich über die gesamte dorsale Oberfläche des Halses erstreckt und eng mit dem Lig. nuchae verbunden ist. Er entspringt aus der Fascia dorsalis des Halses und an den Dornfortsätzen der Halswirbel. Er steht in Kontakt mit dem M. trapezius cervicis, sowie dem M. brachiocephalicus. Nach LESBRE (1903b) ist der M. splenius beim Lama nur im ersten Viertel oder Fünftel des Halses ausgebildet. Am restlichen Hals findet sich nur eine Aponeurose, die dem M. complexus aufliegt und mit der Aponeurose des M. latissimus dorsi in Richtung des Brusteingangs zieht und sich in Richtung des Kopfes verjüngt (LESBRE, 1903b). ARZONE et al. (2008) beschreiben den M. splenius des Lamas als einen nur ungefähr 2 cm breiten, schlanken Muskel, der auf Höhe des 3. bis 4. Halswirbels mittig aus der Fascia profunda entspringt. Mit einer dünnen Sehne, die nur schwer vom M. longissimus capitis zu trennen ist, setzt er am Proc. paracondylaris an. Es existieren keine fleischigen Bereiche, die auf einen M. splenius cervicis hindeuten, obwohl auf halbem Weg eine Befestigung an der tiefen Faszie vorliegt (ARZONE & ROMERO, 1994).

Bei den für diese Dissertation untersuchten Alpakas hingegen kann, trotz sorgfältiger Untersuchung bei keinem der Tiere ein M. splenius nachgewiesen werden, sowie es auch beim Dromedar beschrieben ist (SMUTS & BEZUIDENHOUT, 1987a). Eine mögliche Erklärung für ein Fehlen des M. splenius könnte sein, dass aufgrund des sehr kräftigen Nackenbandes, welches die Streckung und passive Aufrichtung des Halses übernimmt, dieser Muskel nicht mehr so stark beansprucht wurde und sich deshalb im Laufe der Evolution zurück gebildet hat. Das Aufrichten des Halses erfolgt, wie bereits weiter oben genauer beschrieben wird, mit einem nur geringem Kraftaufwand, wenn sich die ventrale Muskulatur entspannt und die Spannung des Nackenbandes den Kopf in seine Ruheposition zieht.

Der M. longissimus thoracis et lumborum bildet den kräftigsten Rückenmuskel und weist einen ähnlichen Ursprung und Verlauf wie bei den Haussäugetieren auf. Die kranialste Sehne des M. longissimus thoracis reicht bis an den Querfortsatz des letzten Halswirbels.

Auch der M. longissimus cervicis verläuft auf typische Weise. Er hat seinen Ursprung an den Querfortsätzen des 3. – 5. Brustwirbels und inseriert an den Querfortsätzen der letzten 4 Halswirbel (ARZONE & ROMERO, 1994). Bei den seziierten Tieren entspringt der Muskel zusätzlich an den Gelenkfortsätzen der letzten 3 Halswirbel.

Der *M. longissimus capitis et atlantis* bezeichnet 2 Anteile des Longissimus-Systems, die sich ihren Ursprung an den Querfortsätzen der ersten 3 Brustwirbel teilen. Im kranialen Drittel der Halsregion trennen sich beide Portionen und bilden zwei 1-2 cm breite Sehnen, die am kaudolateralen Rand des Atlasflügels (*M. longissimus atlantis*) bzw. am *Proc. paracondylaris* (*M. longissimus capitis*) enden. Diese inserieren an den Gelenkfortsätzen bis zum 3. Halswirbel (ARZONE & ROMERO, 1994). Der von ARZONE and ROMERO (1994) beschriebene bis in den Brustbereich reichende Ursprung dieses Muskels, kann bei den untersuchten Alpakas nicht bestätigt werden. Dieser Muskel entspringt ausschließlich an den Gelenkfortsätzen der ersten 5 Halswirbel.

Beim *M. spinalis et semispinalis thoracis et cervicis* handelt sich um einen trapezförmigen Muskel, der ab der 7. Rippe in Richtung des Halses zieht, wo er sich mit dem *M. serratus ventralis cervicis* vereint und einige Fasern mit diesem austauscht, um schließlich an den Gelenk- und Querfortsätzen des 3. Halswirbels anzusetzen (MENDOZA & MONTROYA, 2002).

Der *M. semispinalis cervicis* entspringt nach ARZONE & ROMERO (1994) auf Höhe der Hälfte der Aponeurose des *M. complexus* am 1. Brustwirbel, z.T. auch an den Querfortsätzen der ersten vier Brustwirbel und an den kranialen Gelenkfortsätzen der letzten vier Halswirbel. Der Ansatz erfolgt am Ende der *Procc. spinosi* des 2.-5. Halswirbels (ARZONE & ROMERO, 1994). Bei den für diese Studie untersuchten Tieren hat der *M. spinalis et semispinalis thoracis et cervicis* seinen Ursprung am 3.-5. Lendenwirbel, den Dornfortsätzen vom 9. Brust- bis zum 4. Lendenwirbel, sowie aus dem *Lig. supraspinale* und der Aponeurose des *M. longissimus thoracis et lumborum*. Der Muskel geht in 6-7 Sehnen über, die fast horizontal kranial ziehen und lateral an den Dornfortsätzen der ersten 8 Brustwirbel inserieren. Die beiden am weitesten ventral gelegenen Muskelbündel sind mit dem *M. semispinalis capitis* verschmolzen. Von den letzten beiden Brustwirbel und dem 1. Lendenwirbel erhält der *M. spinalis et semispinalis thoracis et cervicis* Zuwachs von Fasern, die am kranialen Gelenkfortsatz und den Zitzenfortsätzen bzw. den Mamillartoartikularfortsätzen entspringen. Diese Faserbündel repräsentieren den Semispinalis-Anteil des Muskels. Der *M. semispinalis cervicis* endet beim Alpaka an den letzten 5 Halswirbel.

Der Verlauf des *M. semispinalis capitis* beim Alpaka ähnelt dem Verlauf wie er von ARZONE and ROMERO (1994) bereits beim Lama und von SMUTS and

BEZUIDENHOUT (1987a) beim Dromedar beschrieben wird. Die Zweiteilung in einen M. complexus und einen M. biventer erfolgt beim Alpaka recht deutlich. Der M. biventer verläuft dem Lig. nuchae eng anliegend dorsal des M. complexus. Er verbindet die Gelenk- und Zitzenfortsätze der ersten 4-5 Brustwirbel mit der Schädelbasis. Der M. complexus hingegen setzt sich aus feinen Muskelbündel zusammen, die an den Gelenkfortsätzen der letzten 5 Halswirbel entspringen. Sie verlaufen kranial, um von ventral mit dem M. biventer zu verschmelzen und gemeinsam mit diesem zu inserieren. Sie stehen zusätzlich mit den medial gelegenen Mm. multifidi in Verbindung.

Der Aufbau des M. iliocostalis erweist sich beim Alpaka ähnlich wie beim Dromedar. Ein M. iliocostalis cervicis fehlt, obwohl ARZONE and ROMERO (1994) diesen Muskel beim Lama als ungefähr 1 cm breiten Muskel, der ventral der dorsolateralen Halsregion liegt, beschreiben (ARZONE & ROMERO, 1994). Seine Bündel erstrecken sich vom 7. bis an den 4. Halswirbel, jeweils zwischen den Querfortsätzen benachbarter Wirbel (ARZONE & ROMERO, 1994). Der M. iliocostalis cervicis soll den zwischen dem 7. Hals- und 1. Brustwirbel nicht existierenden M. intertransversarius ventralis ersetzen (ARZONE & ROMERO, 1994). Der Lumbalteil des M. iliocostalis ist beim Alpaka komplett mit dem M. longissimus verschmolzen. Die Brustportion besteht aus bis zu 9 einzelnen, dünnen Muskelbäuchen, die von den letzten 3 Rippen entspringend, an den kaudalen Rand der ersten 8 Rippen sowie den Querfortsatz des letzten Halswirbel ziehen. Die Sehne des kranialsten Muskelbauches ist mit der Sehne des M. longissimus verschmolzen.

Neben den eben beschriebenen langen Hals- und Rückenmuskeln, sind beim Alpaka wie auch bei den Haussäugetieren eine Vielzahl an kurzen Muskeln ausgebildet.

Die Mm. interspinales sind bei den untersuchten Alpakas im Gegensatz zum Dromedar, rein bindegewebig und im kranialen Brustbereich bestehen sie der gelblichen Farbe nach zu urteilen zum Großteil aus elastischem Bindegewebe. Beim Dromedar sind zwischen dem 7. Hals- und dem 5. Lendenwirbel nämlich fleischige Zwischendornfortsatzmuskeln ausgebildet (SMUTS & BEZUIDENHOUT, 1987a). Beim Lama sind die Mm. interspinales im Halsbereich nicht klar von der restlichen Muskulatur abgrenzbar, sondern mit dem M. spinalis oder den Mm. multifidi verschmolzen (LESBRE, 1903b). Beim Alpaka hingegen können klar abgrenzbare, rein bindegewebige Mm. interspinales nachgewiesen werden. Aufgrund der von

kranial nach kaudal abnehmenden gelblichen Färbung ist anzunehmen, dass der Anteil an elastischen Fasern zur Schwanzspitze hin abnimmt.

Beim Lama haben ARZONE et al. (2008) den *M. multifidus* so beschrieben, dass er aus ein- und zweigliedrigen Muskelbündeln besteht. In jedem Segment finden sich zwei Bäuche, die durch Muskelzungen des *M. semispinalis cervicis* getrennt werden. Der laterale Muskelstrang entspringt am kranialen Proc. articularis und inseriert am kaudalen Gelenkfortsatz des übernächsten Wirbels. Der mediale Strang ist eingliedrig. Er zieht vom Proc. articularis caudalis eines Wirbels an den Proc. spinosus des kranial gelegenen Wirbels. Der am weitesten kranial gelegene Ansatz erfolgt auf Höhe des 3. Halswirbels (ARZONE et al., 2008).

Beim Alpaka haben die *Mm. multifidi cervicis*, die lateral dem *M. spinalis* et *semispinalis thoracis* et *cervicis* anliegen, ihren Ursprung an den kranialen Gelenkfortsätzen der Halswirbel und der ersten 3 Brustwirbel. Sie überspringen 3 Wirbel um an dem jeweiligen Dornfortsatz des Wirbels anzusetzen. Das kranialste Bündel inseriert am Axis. Auch an der Brust- und Lendenwirbelsäule sind *Mm. multifidi thoracis* bzw. *lumborum* ausgebildet. Im Brustbereich haben sie ihren Ursprung an den kranialen Gelenk- und Zitzenfortsätzen und ziehen an den Dornfortsatz des übernächsten, kranial gelegenen Wirbel. Im Lendenbereich überspringen sie 3-4 Zwischenwirbelräume und entspringen am 1. Schwanzwirbel und den Procc. mamilloarticulares der Lendenwirbel. Die kranialen Anteile der *Mm. multifidi* sind mit dem *M. semispinalis thoracis* verschmolzen. Medial dieser im Lendenbereich recht kräftigen Muskeln, kann eine dünne Lage von weiteren *Mm. multifidi* mit dem gleichen Verlauf vorgefunden werden.

Beim Dromedar verlaufen die *Mm. multifidi* in den verschiedenen Regionen auf ähnliche Weise (SMUTS & BEZUIDENHOUT, 1987a).

Die *Mm. rotatores* sind beim Alpaka an der gesamten Brustwirbelsäule ausgebildet und zeigen den gleichen Verlauf wie beim Dromedar (SMUTS & BEZUIDENHOUT, 1987a) oder den Haussäugetieren (NICKEL et al., 2004). Da auch die Form der Gelenkfortsätze vergleichbar ist, kann davon ausgegangen werden, dass diese Muskeln beim Alpaka ebenfalls abschnittsweise die Brustwirbel gegeneinander drehen können.

Die *Mm. intertransversarii* kommen beim Alpaka nur im Halsbereich als Muskulatur vor. Im Brustbereich sind keine derartigen Muskeln vorhanden und im Lendenbereich sind sie rein bindegewebig ausgebildet. Im Halsbereich können beim Alpaka dorsale

und ventrale Mm. intertransversarii unterschieden werden, wobei die ventralen Muskeln wiederum in eine laterale und mediale Schicht unterteilt werden können, wie es auch beim Dromedar beschrieben ist (SMUTS & BEZUIDENHOUT, 1987a). Sie sind als segmentale Muskeln ausgebildet, die die ventralen und dorsalen Tuberkula der Querfortsätze der einzelnen Halswirbel auf unterschiedliche Art und Weise miteinander verbinden. Sie reichen vom Axis bis an den 1. Brustwirbel und überspringen dabei 1 bis 2 Zwischenwirbelräume. Das letzte dorsale Muskelbündel wird von MENDOZA and MONTOYA (2002) als Halsportion des M. iliocostalis angesehen. Der ventrale Strang vereint sich an seinem kaudalen Ende mit den Fasern der Mm. scaleni (MENDOZA & MONTOYA, 2002).

Der M. scalenus entspringt beim Alpaka lateral am kranialen Rand des ersten Rippenpaares und zieht an die Querfortsätze des 5. und 6. Halswirbels (MENDOZA & MONTOYA, 2002). Beim Lama wird der M. scalenus vom Plexus brachialis durchkreuzt und entspringt komplett an der ersten Rippe. Er besitzt dorsale, ventrale und schräge Fasern, die den Mm. intertransversarii des Halses ähneln (LESBRE, 1903b). Die untersuchten Alpakas weisen nur einen M. scalenus medius und ventralis auf, wobei letzterer aus 3 Portionen besteht. Beide Muskel entspringen an der ersten Rippe und inserieren am Querfortsatz des 7. bzw. des 5.-7. Halswirbels. Getrennt werden die beiden Muskeln definitionsgemäß wie bereits oben beim Lama erwähnt, durch den Austritt des Plexus brachialis. Einen M. scalenus dorsalis, der beim Wiederkäuer, Schwein oder Fleischfresser an den weiter kaudal gelegenen Rippen entspringt (LIEBICH et al., 2015a), kann beim Alpaka nicht aufgefunden werden.

Zu den besonderen Bewegern des Kopfes zählen beim Alpaka die gleichen Muskeln wie bei den Haussäugetieren, die den gleichen Verlauf aufzeigen. Allerdings ist bei den für diese Dissertation untersuchten Tieren beim M. rectus capitis dorsalis, M. obliquus capitis cranialis und M. rectus capitis ventralis eine undeutliche Zweiteilung aufgefallen. Auch der M. obliquus capitis caudalis erweckt durch seinen Ursprung an zwei Punkten den Anschein einer Zweiteilung.

Der M. longus capitis besteht beim Alpaka aus zwei oberflächlichen Portionen, die an den Querfortsätzen des 3. und 4. Halswirbel entspringen und einer tiefen Portion, die ventrolateral am Axis beginnt. Die 3 Muskelbündel inserieren am Tuberculum musculare des Os occipitale. Beim Lama setzt sich der M. longus capitis aus zwei Portionen zusammen, die am Proc. transversus des 2. und 3. Halswirbels

entspringen. Seinen Ansatz findet der Muskel auf Höhe der Tubercula muscularia des Os occipitale (ARZONE & ROMERO, 1994). Beim Dromedar entspringt der Muskel ebenfalls an den Querfortsätzen des 2. und 3. Halswirbels (SMUTS & BEZUIDENHOUT, 1987a). Somit ist der M. longus capitis bei den Kameliden kürzer als bei den Haussäugetieren, bei denen der Muskel fast die gesamte ventrale Fläche des Halses mit der Schädelbasis verbindet mit Ausnahme des Pferdes, wo er in der Regel nur bis zum 4. Halswirbel reicht (NICKEL et al., 2004).

Der Großteil der Hals- und Rückenmuskulatur liegt dorsal der Querfortsätze. Zur ventralen Muskulatur zählen ausschließlich der M. longus colli, sowie die Vertreter der langen Zungenbeinmuskeln. Der M. longus colli erstreckt sich beim Alpaka vom 1. Halswirbel über die gesamte ventrale Fläche der Halswirbelsäule bis an den 1. Brustwirbel (MENDOZA & MONTROYA, 2002). Bei den untersuchten Tieren allerdings entspringen die ersten Muskelbündel des M. longus colli bereits ventral am 3.-4. Brustwirbel und zeigen einen kraniolateralen Verlauf. Im Halsbereich hingegen beginnen die Muskelbündel medial an den ventralen Tuberkula der Querfortsätze und ziehen kraniomedial. Der Übergang zwischen diesen beiden Verlaufsrichtungen erfolgt zwischen dem 6. Hals- und dem 1. Brustwirbel, wo die Muskelfasern parallel zur Wirbelsäule verlaufen. Diese wechselnde Verlaufsrichtung der einzelnen Muskelbäuche des M. longus colli ist sowohl beim Dromedar (SMUTS & BEZUIDENHOUT, 1987a) als auch bei den Haussäugetieren bekannt (LIEBICH et al., 2015a).

Die lange Zungenbeinmuskulatur bedeckt den ventralen Hals. Sie setzt sich beim Alpaka aus dem M. sternocephalicus, M. sternothyreoideus, dem M. sternohyoideus und dem M. omohyoideus zusammen. Bei den ersten 3 genannten Muskeln handelt es sich um sehr dünne Muskelbäuche, die alle gemeinsam kranial am Manubrium sterni entspringen und deren linke und rechte Seite im kaudalen Halsbereich in der Medianen verschmolzen sind. Als Besonderheit fällt beim Alpaka auf, dass der M. sternohyoideus und sternothyreoideus ungefähr in der Mitte des Halses in eine dünne Sehne übergehen, um dann ungefähr auf Höhe des Übergangs vom mittleren ins kraniale Drittel des Halses wieder in einen flachen Muskelbauch überzugehen. Auch beim Lama ist bereits beschrieben, dass der M. sternothyreoideus mittig von einer langen Sehne unterbrochen wird (LESBRE, 1903b). Der Vorteil von Sehnen ist, dass sie durch die geringere Durchblutung einen geringeren Energieverbrauch haben. Außerdem besitzen Sehnen aufgrund ihres hohen Anteils an Kollagenfasern

einen erheblichen Grad an Zug- und Reissfestigkeit (LIEBICH et al., 2015b) Auf diese Weise unterstützt die sehnige Unterbrechung des M. sternothyreoideus die Ventroflexion des Halses. Diese ist aufgrund des starken Nackenbandes mit einem hohen Kraftaufwand für das Alpaka verbunden, was auch durch die stärkere Ausbildung der ventralen Muskulatur deutlich wird. Der M. sternothyreoideus inseriert schließlich, lateral der Trachea anliegend an den Kehlkopfknorpeln, während der M. sternohyoideus ventral an das Zungenbein zieht. Beim M. sternocephalicus kann nur ein Muskelbauch unterschieden werden. Am Manubrium sterni entspringend, liegt dieser den beiden anderen langen Zungenbeinmuskeln ventral an. Auf Höhe des 3. Halswirbels, trennen sich die Muskelbäuche beider Seiten und ziehen über die Ohrspeicheldrüse und den M. omohyoideus. Seine Endsehne inseriert am Proc. mastoideus des Os occipitale. Jedoch fällt auf, dass sich die Endsehne kaudal der Mandibula auffächert und zusätzlich auch an dieser inseriert. Obwohl das Alpaka also keinen trennbaren M. sternomastoideus und M. sternomandibularis besitzt, inseriert der M. sternocephalicus trotzdem an beiden Insertionspunkten. Diese Ergebnisse des Verlaufes des M. sternohyoideus, M. sternothyreoideus und M. sternocephalicus decken sich mit den Beschreibungen von MENDOZA and MONTOYA (2002). ARZONE and ROMERO (1994) haben den M. sternohyoideus und M. sternothyreoideus als M. sternothyreohyoideus zusammengefasst, mit gleichem Verlauf beschrieben.

Außerdem besitzt das Alpaka noch einen M. omohyoideus, der deutlich kürzer ist als die restlichen langen Zungenbeinmuskeln. Er entspringt auf Höhe des 2. und 3. Halswirbels aus der Faszie und zieht kranioventral, um am Zungenbein zu inserieren. Während seines Verlaufes trennt er auf einer Strecke von 30-40 mm die A. carotis communis von der V. jugularis. MENDOZA and MONTOYA (2002) und SMUTS and BEZUIDENHOUT (1987a) haben den M. omohyoideus beim Alpaka auf ähnliche Weise beschrieben.

Ein M. sternotympanicus, der vom Manubrium sterni an die Bulla tympanica zieht (GHEZZI, 1994), kann bei den hier seziierten Tieren nicht nachgewiesen werden.

Beim Lama wird noch ein M. cervicohyoideus beschrieben, der an den Querfortsätzen des 2.-3. Halswirbel, sowie an der Aponeurose, des M. brachiocephalicus und M. trapezius entspringt. Er inseriert mit bandartigen Aponeurosen zwischen dem M. longus colli und den Mm. intertransversarii am Os basihyoideum und thyreoideum. Lateral tritt er mit der Sehne des M.

sternomastoideus in Verbindung und kranial mit dem Scheitelpunkt der Glandula parotidea und des Ln. mandibulare, welcher den Ansatz des M. cervicohyoideus teilweise bedeckt (ARZONE & ROMERO, 1994). Er ersetzt den M. omohyoideus, vorausgesetzt, dass dieser als solches nicht existiert. Im kranialen Teil des Halses trennt er die V. jugularis externa von der A. carotis communis (GHEZZI, 1994).

Bei der Muskulatur des Schwanzes können keine bedeutsamen Unterschiede zu den Haussäugetieren festgestellt werden (SEIFERLE & FREWEIN, 2004). Die untersuchten Tiere besitzen alle 6 Schwanzmuskeln. Auf der dorsalen Seite sind das der M. sacrococcygeus dorsalis medialis und lateralis. Ventral beginnen der M. sacrococcygeus ventralis medialis und lateralis ventral am Kreuzbein und den Schwanzwirbeln. Zwischen dem dorsalen und ventralen lateralen Schwanzmuskel sind die Querfortsätze benachbarter Wirbel durch die Mm. intertransversarii caudae miteinander verbunden. Alle Schwanzmuskeln bestehen aus vielen einzelnen Muskelbündeln, die sich jeweils überlappen und auch Fasern untereinander austauschen.

In dieser Studie hat sich gezeigt, dass die Architektur des passiven und aktiven Trageapparates dem anatomischen Grundprinzip der Haussäugetiere entspricht. Allerdings gibt es verschiedene Besonderheiten, die zum Teil in der Literatur auf unterschiedliche Weise beschrieben werden und mit den in dieser Studie erhaltenen Ergebnissen nicht immer vollständig übereinstimmen. Die bestehenden Veröffentlichungen, welche die Anatomie von Neuweltkameliden beschreiben, thematisieren oft nur die knöcherne Wirbelsäule und nur wenige die Anatomie der Muskulatur oder den Bandapparat der Wirbelsäule. Zahlreiche Artikel behandeln das Lama, vergleichsweise wenige thematisieren die Anatomie des Alpakas. Desweiteren ist es zum Teil sehr aufwendig Zugriff zu der größtenteils aus Südamerika stammenden Literaturstellen zu erhalten. Das Ziel dieser Dissertationsschrift ist es somit, eine zusammenhängende Übersicht aller beteiligten anatomischen Strukturen des Trageapparates der Wirbelsäule zu schaffen. Die Anatomie des Alpakas lässt jedoch sicherlich noch viel Raum für weitere Studien, die für eine fachgerechte Untersuchung und Therapie dieser exotischen Haus- und Nutztiere sicherlich von Bedeutung sind.

6 Zusammenfassung

Untersuchung der systematischen Anatomie der Wirbelsäule und der Wirbelsäulenmuskulatur des Alpakas (*Vicugna pacos*)

Das Ziel dieser Dissertation bestand darin, den grundsätzlichen Aufbau des passiven und aktiven Trageapparates des Halses und Rückens beim Alpaka zu beschreiben. Auch wenn der allgemeine Grundaufbau dem der Haussäugetiere entspricht, kann eine ganze Reihe anatomischer Besonderheiten festgestellt werden, die in dieser Weise nicht bei den Haustieren beschrieben sind.

So fallen vor allem die im Gegensatz zu den restlichen Wirbeln deutlich längeren Halswirbel auf. Vom 3. bis zum 6. Halswirbel erstreckt sich jeweils in der kranialen Hälfte des Wirbelkanals eine Knochenspange vom Boden des Wirbelkanals bis medial an den Wirbelbogen. Diese aneinandergereihten Knochenspangen bilden gemeinsam den so genannten *Canalis pedicularis vertebralis*, der die *A. vertebralis* aufnimmt und diese vor Verletzungen schützt. Dieser Kanal findet sich in dieser Form nur bei Kameliden. An der Brustwirbelsäule fällt auf, dass die Dornfortsätze beim Alpaka im Vergleich zu anderen Haussäugetieren recht niedrig sind, weshalb kein ausgeprägter Widerrist zu erkennen ist.

Auch das *Ligamentum nuchae* ist bei den untersuchten Alpakas sehr kräftig ausgebildet. Aufgrund der für das Alpaka sehr typischen vertikalen Halshaltung spielt es eine große Rolle beim Tragen der Kopflast und der Entlastung der Kopf-Hals-Muskulatur.

Bei der Untersuchung des aktiven Trageapparates fallen vor allem die Halsmuskulatur betreffend Unterschiede zu den Haussäugetieren auf, während die Grundstruktur der Rückenmuskulatur sehr ähnlich zu diesen ist. Die dorsale Halsmuskulatur ist vergleichsweise schwach ausgebildet: so kann der *M. splenius* trotz Erwähnung in der Literatur bei den untersuchten Tieren nicht nachgewiesen werden. Die einzelnen Halsmuskeln bestehen jeweils aus verschiedenen Muskelbäuchen, die sich überlappen und untereinander Fasern austauschen. Vor allem am Übergang von der Brust- zur Halswirbelsäule sind die einzelnen Muskelbäuche sehr eng miteinander verwachsen und stabilisieren den Hals. Aufgrund der insgesamt langen, segmental angelegten Muskeln, die an den letzten

Hals- bzw. ersten Brustwirbeln entspringen und bis zum Atlas, Axis oder sogar bis an das Hinterhauptsbein reichen, erhält der Hals beim Alpaka trotz seiner großen Beweglichkeit die nötige Stabilität.

Diese Arbeit liefert einen Überblick über die knöchernen, bandhaften und muskulären Anteile des Halses und Rückens beim Alpaka. Für eine exakte Beschreibung individueller Variationen sowie der topographischen Anatomie von Nerven und Blutgefäßen sind weitere Studien nötig.

7 Summary

Examination of the systematic anatomy of the vertebral column and its muscles in the alpaca (*Vicugna pacos*)

The objective of this dissertation was to describe the general structure of the passive and active supportive apparatus of the neck and back of alpacas. Although the general organisation is comparable to that of domestic mammals, the dissection of alpacas shows various anatomical peculiarities that have not been described as such in domestic mammals.

For example, the cervical vertebrae are significantly longer than the other vertebrae. In the cranial half of the vertebral canal of the 3rd to 6th cervical vertebrae, a bone ridge arises from the base of the vertebral canal and expands medially to the vertebral arch. These adjoined bone ridges form the *canalis pedicularis vertebralis* which houses the *A. vertebralis* and thus protects it from injuries. This canal only exists in this form in camelids.

Compared to the thoracic vertebrae of domestic mammals, those of alpacas have relatively low spinous processes, resulting in alpacas not having obvious withers.

The *ligamentum nuchae* is very strong in the examined alpacas, which is important for carrying the weight of their heads, as alpacas typically hold their necks vertically, and for relieving the muscles of the head and neck.

In the active supportive apparatus, differences to domestic mammals are mainly apparent in the neck musculature while the general structure of the back musculature is very similar to theirs. The dorsal muscles are comparatively weak – e.g. the *M. splenius* cannot be found in the examined alpacas, even though it had previously been described in the available literature. The individual neck muscles consist of various overlapping muscle bellies that exchange fibres with one another. The muscle bellies are closely fused at the transition of the cervical spine to the thoracic spine and stabilise the neck. Due to the altogether long and segmentally organised muscles that originate in the last cervical and first thoracic vertebrae and insert at the atlas, axis or even the occipital bone and the skull base, alpacas' necks have the necessary stability as well as a high flexibility.

This study provides an overview of the macroscopic structure of the bony, muscular and ligamentous supportive apparatus of alpacas' necks and backs. For a more detailed description of individual variations and the topographical anatomy of the nerves and blood vessels, further studies will be necessary.

8 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Skizze des Bewegungsapparates eines adulten Alpakas (rechte Vordergliedmaße wurde entfernt).	37
Abb. 2: Atlas einer 3,5 Jahre alten Stute Huacaya-Stute a) kranioventrale Ansicht; b) kaudodorsale Ansicht).....	39
Abb. 3: Axis einer 3,5 Jahre alten Huacaya-Stute (Ansicht von dorsal).....	40
Abb. 4: Halswirbelsäule eines 18 Jahre alten Suri-Hengstes (Lateralansicht von links; Gefäße mit Latexmilch injiziert).	41
Abb. 5: 3. Halswirbel einer 3,5 Jahre alten Huacaya-Stute (Ansicht von kranial).....	42
Abb. 6: Längsschnitt der Wirbelsäule auf Höhe des 5.-7. Halswirbels eines 18 Jahre alten Suri-Hengstes mit Blick in den Wirbelkanal (Lateralansicht von links).	44
Abb. 7: Brustwirbelsäule einer 3,5 Jahre alten Huacaya-Stute (Ansicht von links).	45
Abb. 8: 3. Lendenwirbel einer 3,5 Jahre alten Huacaya-Stute (Ansicht von kraniodorsal). ...	47
Abb. 9: Kreuzbein einer 3,5 alten Huacaya-Stute (Dorsolaterale Ansicht von rechts).....	49
Abb. 10: Schwanzwirbelsäule einer 3,5 Jahre alten Huacaya-Stute (Dorsale Ansicht).....	51
Abb. 11 Art. atlantooccipitalis und Art. atlantoaxialis eines 6,5 Monate alten Huacaya-Cria (Ansicht von ventral).....	53
Abb. 12 Art. atlantooccipitalis eines 6,5 Monate alten Huacaya-Cria (Lateralansicht von rechts).	54
Abb. 13: Art. atlantoaxialis eines 6,5 Monate alten Huacaya-Cria (Ansicht von dorsal, medianer Anteil des Arcus dorsalis vom Atlas wurde entfernt).	55
Abb. 14: Ligg. intertransversaria im Bereich der Lendenwirbelsäule einer 5 Jahre alten Huacaya-Stute (Ansicht von dorsal).	58
Abb. 15: Bandapparat der Hals- und Brustwirbelsäule eines 18 Jahre alten Suri-Hengstes (Lateralansicht von rechts).	60
Abb. 16: Lig. longitudinale ventrale eines 6,5 Monate alten Huacaya-Cria (Ansicht von ventral).....	61
Abb. 17: 6. Halswirbel eines 6,5 Monate alten Huacaya-Cria (Lateralansicht von rechts)	61
Abb. 18: Kurze Kopfdreher eines 18 Jahre alten Suri-Hengstes (Ansicht von links).....	63

Abb. 19: Laterales System der Hals- und Rückenmuskeln (Ansicht von links)	67
Abb. 20: Zeichnung der lateralen Schicht des mittleren Systems.....	68
Abb. 21: Halsmuskulatur auf Höhe des 6. Halswirbels eines 6,5 Monate alten Huacaya-Cria (Ansicht von links).	69
Abb. 22: Mediales System der langen Hals- und Rückenmuskeln eines 18 Jahre alten Suri- Hengstes (Lateralansicht von links).	72
Abb. 23: Zeichnung der Mm. multifidi und Mm. rotatores eines adulten Lamas (Lateralansicht von rechts; Mm. multifidi thoracis entfernt zur besseren Darstellung der medial davon liegenden Mm. rotatores).....	74
Abb. 24: Zeichnung der Mm. intertransversarii dorsales cervicis eines adulten Alpaka (Lateralansicht von rechts)	76
Abb. 25: Zeichnungen der Mm. intertransversarii ventrales- a) laterale und b) mediale Schicht eines adulten Alpakas (Lateralansicht von rechts).	77
Abb. 26: M. longus colli eines 6,5 Monate alten Huacaya-Cria (Ansicht von ventral).....	79
Abb. 27: Mm. scaleni eines 6,5 Monate alten Huacaya-Cria (Lateralansicht von links).	80
Abb. 28: Dorsale Schwanzmuskulatur eines 18 Jahre alten Suri-Hengstes (Ansicht von dorsal).	84

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzahl der untersuchten Tiere (n = 6)	32
Tabelle 2: Nationale der verwendeten Tiere (n=6)	33
Tabelle 3: Für die Erstellung von Gefäßausgüssen genutzten Tiere	35
Tabelle 4: Anzahl der Wirbel	38
Tabelle 5: Besondere Bewegungen des Kopfes	65
Tabelle 6: Laterales System der langen Hals- und Rückenmuskeln	70
Tabelle 7: Mediales System der langen Hals- und Rückenmuskulatur	75
Tabelle 8: Kurze Hals- und Rückenmuskeln	78
Tabelle 9: Abwärtsbieger der Halswirbelsäule	80
Tabelle 10: Lange Zungenbeinmuskeln	82
Tabelle 11: Halsmuskeln	83
Tabelle 12: Muskeln des Schwanzes	86

10 Literaturverzeichnis

- 1 Altmann D. Kamele - Abstammung, Domestikation und Verbreitung. In: Nutztiere der Tropen und Subtropen: Büffel, Kamele, Schafe, Ziegen, Wildtiere. Legel S, Anacker G, Altmann D, eds. Leipzig: Hirzel 1990: 115-21.
- 2 Andreasen CB, Pearson EG, Smith BB, Gerros TC, Lassen ED. Normal reference intervals and the effects of time and feeding on serum bile acid concentrations in llamas. *J Vet Diagn Invest* 1998; 10: 174-8.
- 3 Arzone CA, Romero JM. Musculatura cervical de la llama. In: *Excerta Anatómica Camelidae*. Galotta JM, Márquez SG, eds. Buenos Aires: Fundación Camélidos Sudamericanos 1994: 32-4.
- 4 Arzone CA, Sánchez GA, Vidal Figueredo R, Acerbo M, Pellegrino FC. Circuito Venoso Cervical de la Llama (*Lama glama*). *Int J Morphol* 2008; 26: 849-52.
- 5 Azzopardi M. La Colonne vertébrale. In: *Contribution à l'ostéologie et à l'imagerie médicale de l'alpaga <<Vicugna pacos>>*: 2012: 109-18.
- 6 Barker WHJ, Witte TH, Driver CJ, Jull P, Whitehead CE, Volk HA. Dorsal laminectomy for treatment of cervical vertebral stenotic myelopathy in an alpaca. *J Am Vet Med Assoc* 2015; 246: 1122-8.
- 7 Benavente Aninat MA, Adaro Aravena L, Gecele Ciuffi P, Cunazza Paliuri C. In: *Contribucion a la determinacion de especies animales en arqueologia: familia camelidae y taruca del norte*. Sudamericanos CIOdC, ed. Santiago Chile: Andes & Andes S. A. 1993:
- 8 Danowitz M, Solounias N. The Cervical Osteology of *Okapia johnstoni* and *Giraffa camelopardalis*. *PLoS One* 2015; 10: 1-16.
- 9 Dos Santos Romero DL. Osteología del miembro pelviano. In: *Osteología y miología de los miembros torácico y pelviano de la alpaca (Vicugna pacos)* Montevideo, Uruguay: 2014: 34-45.
- 10 Fowler ME. Conformation and Gaits. In: *Medicine and Surgery of Camelids*. Fowler ME, ed. Ames, Iowa: Wiley & Blackwell 2010a: 587-602.
- 11 Fowler ME. Musculoskeletal System. In: *Medicine and Surgery of Camelids*, Third Edition edn. Fowler ME, ed. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell 2010b: 311-37.
- 12 Fowler ME. Clinical Diagnosis: Examination and Procedures. In: *Medicine and Surgery of Camelids*, Third Edition edn. Fowler ME, ed. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell 2010c: 89-109
- 13 Fowler ME, Bravo PW. Digestive System. In: *Medicine and Surgery of Camelids*, 3 edn. Wiley-Blackwell, ed. Iowa, USA: Wiley-Blackwell 2010: 351-402.
- 14 Fuentes Tapia LW (1953) *Contribucion a la osteología de la alpaca (Lama glama pacos)*. Ed Marcos UNMdS, Lima. 87
- 15 Galotta DR, Galotta JM. Esqueleto de la llama. In: *Excerta anatomica camelidae*. Galotta JM, Márquez SG, eds. Buenos Aires: Fundación camélidos sudamericanos 1994: 10-9.
- 16 Ghezzi MDea. Región cervical ventral de la llama. In: *Excerta anatomica camelidae*. Galotta JM, Márquez SG, eds. Buenos Aires: Fundación camélidos sudamericanos 1994: 54-6.
- 17 Gunsser I (2011) *Orthopaedic Problems in Llamas and Alpacas - Clinical and Radiological Aspects*. 217-21
- 18 Heinemann D. Die Lamas. In: *Grzimeks Tierleben*. Grzimek B, ed. Zürich: Kindler Verlag AG 1968: 157-61.
- 19 Hildebrand M, Goslow GE. Strukturelemente des Körpers. In: *Vergleichende und funktionelle Anatomie der Wirbeltiere* Germany: Springer 2004: 433-55.

- 20 Kadwell M, Fernandez M, Stanley HF, al. e. Genetic analysis reveals the wild ancestors of the llama and the alpaca. *Proc R Soc Lond B* 2001; 268: 2575-84.
- 21 Kiesling C (2017) The Camelid Registry LAREU - What are we breeding in Europe. In: 7th European Symposium on South American Camelids, Assisi, Italy
- 22 Lesbre FX. Différences entre les chameaux et les lamas: Appareil locomoteur: Squelette. In: *Recherches anatomiques sur les camélidés*: 1903a: 165-78.
- 23 Lesbre FX. Différences entre les chameaux et les lamas: Appareil locomoteur: Muscles. In: *Recherches anatomiques sur les camélidés*: 1903b: 181-6.
- 24 Liebich H-G, König HE. Skelett des Stammes (Skeleton axiale). In: *Anatomie der Haussäugetiere 6., überarbeitete und erweiterte Auflage* Stuttgart: Schattauer GmbH 2015: 53-114.
- 25 Liebich H-G, Maierl J, König HE. Faszien und Muskeln des Kopfes. In: *Anatomie der Haussäugetiere 6., überarbeitete und erweiterte Auflage* Stuttgart Schattauer GmbH 2015a: 115-46.
- 26 Liebich H-G, Forstenpointner G, König HE. Einführung und allgemeine Anatomie - Bewegungsapparat. In: *Anatomie der Haussäugetiere 6., überarbeitete und erweiterte Auflage* Schattauer GmbH 2015b: 8-31.
- 27 McCracken TO, Kainer RA, Spurgeon TL (2013) Spurgeon's color atlas of large animal anatomy: the essentials. John Wiley & Sons
- 28 Mendoza GT, Montoya LO. Anatomía macroscópica de los músculos del cuello de la alpaca (*Lama pacos*). *Rev Inv Vet Perú* 2002; 13: 6-16.
- 29 NAV (2017) *Nomina Anatomica Veterinaria*, 6th ed. edn, Hannover, Ghent, Columbia, Rio de Janeiro
- 30 Nickel R, Schummer A, Wille K-H, Wilkens H. Passiver Bewegungsapparat, Skelettsystem. In: *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere Band I - Bewegungsapparat 8., unveränderte Auflage* Stuttgart Parey Verlag 2004: 15-272.
- 31 Pacheco Torres VR, Altamirano Enciso AJ, Guerra Porras ES (1979) *Guia osteologica de camelidos sudamericanos*. Ed Marcos UNMdS, Lima, Peru
- 32 Preuschoft H, Witte H, Christian A, Recknagel A. Körpergestalt und Lokomotion bei großen Säugetieren. *Verh. Dtsch. Zool. Ges.* 1994; 87: 147-63.
- 33 Seiferle E, Frewein J. Aktiver Bewegungsapparat, Muskelsystem, Myologia. In: *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere Band I -Bewegungsapparat 8., unveränderte Auflage* Stuttgart: Parey Verlag 2004: 273-569.
- 34 Smuts MMS, Bezuidenhout AJ. The Muscular System. In: *Anatomy of the DromedaryOxford [Oxfordshire]: New York: Clarendon Press ; Oxford University Press* 1987a: 59-104.
- 35 Smuts MMS, Bezuidenhout AJ. The Joints and Ligaments. In: *Anatomy of the DromedaryOxford [Oxfordshire]: New York: Clarendon Press; Oxford University Press* 1987b: 48-58.
- 36 Stolworthy DK, Bowden AE, Roeder BL, Robinson TF, Holland JG, Christensen SL, Beatty AM, Bridgewater LC, Eggett DL, Wendel JD, Stieger-Vanegas SM, Taylor MD. MRI Evaluation of Spontaneous Intervertebral Disc Degeneration in the Alpaca Cervical Spine. *J Orthop Res* 2015a; 33: 1776-83.
- 37 Stolworthy DK, Fullwood RA, Merrell TM, Bridgewater LC, Bowden AE. Biomechanical analysis of the camelid cervical intervertebral disc. *Journal of Orthopaedic Translation* 2015b; 3: 34-43.
- 38 Timm K, Smith B, Gauly M. Anatomie und Physiologie. In: *Neuweltkameliden Haltung, Zucht, Erkrankungen*, 3. vollständig überarbeitete und erweiterte

- Auflage. Gauly M, Vaughan J, Cebra CK, eds. Stuttgart: Enke Verlag 2011: 7-21.
- 39 Vollmerhaus B. Spezielle Anatomie des Bewegungsapparates. In: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere Band V - Anatomie der Vögel 3., durchgesehene Auflage Stuttgart: Parey Verlag 2004: 54-153.

11 Danksagung

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr. Johann Maierl für die Überlassung des interessanten Themas, sowie für die allzeit kompetente, geduldige und humorvolle Betreuung bei der Anfertigung dieser Dissertationsschrift.

Bei den Mitarbeitern des Institutes für Anatomie, Histologie und Embryologie, insbesondere der Frau Marlene Amrhein, Frau Silvia Mitterer, Herrn Siegfried Hecher und Herrn Hermann Obermayer möchte ich mich für die vielen Tipps rund um das Präparieren und Fixieren der Tiere bedanken. Außerdem bedanke ich mich bei Ihnen für ihre Geduld, wenn die recht grossen Präparate die Organisation der Lagerung in den Kühlräumen erschwert haben.

Für die Überlassung bzw. Vermittlung verstorbener Tiere danke ich recht herzlich Frau. Dip. ECSRH Dr. Voigt, Frau Dr. Ilona Gunsser, Frau Obermayer, Herrn Dr. Sebastian Nüske und der Klinik für Wiederkäuer der LMU in Oberschleissheim. Auch bei Frau und Herrn Turban des Alpakahofes am Frauenstein bedanke ich mich für die Überlassung einer Ihrer Stuten und die interessanten Erklärungen rund um die Haltung und Zucht von Alpakas.

Bei meinen Freunden und Mitdoktoranden Anke Vater und Sophia Weiss bedanke ich mich für die gute Zusammenarbeit und die vielen lustigen Momente im und außerhalb des Präparierraumes. Bei Anke bedanke ich mich außerdem für die große Hilfe während der letzten Tage vor der Abgabe der Dissertation.

Der Frau Hannah Schmidt und der Frau Alina Nielson gilt ein grosser Dank für die schönen und detailgetreuen Zeichnungen bzw. die graphische Darstellung, welche es ermöglichten die Muskulatur und Knochen übersichtlicher und verständlicher darzustellen.

Bei Barbara Prämassing, Franziska Moritz und Lara Saam Mourtou bedanke ich mich recht herzlich für das schnelle Korrekturlesen und die unermüdliche Fehlersuche.

Außerdem danke ich Clemens Grupp und Dominik Lengauer für die Unterstützung bei der Bildbearbeitung mittels Photoshop.

Für die grosse Hilfe bei der Übersetzung der spanischen Literatur geht ein großes Dankeschön an Alina Wilhelm und Hjördis Elina Lebroy, die mir Beide sehr viel Zeit und Mühe erspart haben. Auch der Katharina und dem Luis Jaime Saucedo danke ich für die Übersetzung des Anschreibens, die es mir trotz fehlender Spanischkenntnisse möglich gemacht hat, meine Literaturrecherche auf den südamerikanischen Kontinent zu erweitern und somit vollständiger zu gestalten.

Herrn Kraft, dem Bibliothekar der Tierärztlichen Fakultät der LMU München danke ich für die Hilfe bei der Literaturrecherche.

Bei Frau Dra. Miluska Navarrete von der Tierärztlichen Fakultät der „Universidad Nacional Mayor de San Marcos“ in Lima, Peru bedanke ich mich für Ihre Recherchen in den Archiven Ihrer Universität um nach Literaturstellen zu suchen, zu denen ich von München aus keinen Zugang hatte.

Aus tiefstem Herzen bedanke ich mich bei Gloria, die mich stets ermutigt hat durchzuhalten und mir während der Doktorarbeit und vor allem im Leben stets zur Seite steht und ohne die alles nur halb so schön wäre.

Meinen Geschwistern danke ich für die Hilfe in frohen, aber vor allem in traurigen Zeiten und dafür, dass sie ihren kleinen Bruder immer unterstützen.

Zuletzt will ich mich bei meinen Eltern dafür bedanken, dass sie immer an mich glauben und mir mit viel Liebe und unermüdlicher Geduld stets alle Steine aus dem Weg räumen und mich stets in allem unterstützen.